Agriculture Canada

Research Branch | Direction générale de la recherche

Technical Bulletin 1986-1E

Concepts and classification of Gleysolic soils in Canada

1886·1986

86-03242/

The map on the cover has dots representing Agriculture Canada research establishments.

ONE HUNDRED YEARS OF PROGRESS

The year 1986 is the centennial of the Research Branch, Agriculture Canada.

On 2 June 1886, *The Experimental Farm Station Act* received Royal Assent. The passage of this legislation marked the creation of the first five experimental farms located at Nappan, Nova Scotia; Ottawa, Ontario; Brandon, Manitoba; Indian Head, Saskatchewan (then called the North-West Territories); and Agassiz, British Columbia. From this beginning has grown the current system of over forty research establishments that stretch from St. John's West, Newfoundland, to Saanichton, British Columbia.

The original experimental farms were established to serve the farming community and assist the Canadian agricultural industry during its early development. Today, the Research Branch continues to search for new technology that will ensure the development and maintenance of a competitive agri-food industry.

Research programs focus on soil management, crop and animal productivity, protection and resource utilization, biotechnology, and food processing and quality.

Concepts and classification of Gleysolic soils in Canada

J. A. McKEAGUE, C. WANG, C. TARNOCAI, and J. A. SHIELDS
Land Resource Research Institute
Ottawa, Ontario

LRRI Contribution No. 85-08

Research Branch
Agriculture Canada
1986

Copies of this publication are available from:
Director
Land Resource Research Institute
Research Branch, Agriculture Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0C6

Produced by Research Program Service

© Minister of Supply and Services Canada 1986
Cat. No. A54-8/1986-1E
ISBN 0-662-14526-7

Également disponible en français sous le titre
Revue des concepts et classification des sols gleysoliques au Canada

Contents

	Page
ABSTRACT	1
INTRODUCTION	2
REVIEW OF CONCEPTS AND CLASSIFICATION OF GLEYSOLIC SOILS	2
RESEARCH RELATED TO GLEYSOLIC SOILS	5
PROGRESS REPORT ON RECENT RESEARCH	13
PROPOSALS DEVELOPED IN 1984	17
REVISED GLEYSOLIC ORDER CHAPTER	22
CONCLUSIONS	32
ACKNOWLEDGEMENTS	33
REFERENCES	34

ABSTRACT

Developments in concepts and classification of Gleysolic soils in Canada throughout this century emanated from increasing knowledge of soils in this country and elsewhere. Some of the current problems in classifying these soils are shown to be due to a tendency to insist that soil taxonomy should be compatible with the current soil water regime. Separating soil water regime from soil taxonomy at the higher levels conveys additional information. Though more elegant bases of criteria were sought, soil color is still the most useful known property for differentiating Gleysolic soils from others. Results of recent proposals for fine-tuning the criteria of the Gleysolic order are incorporated into a revised draft of the order. Further work is required to resolve a few outstanding problems but the need for research on Gleysolic soils is minor in relation to that on other soil problems. The revised system requires testing in all regions and documentation of problems that arise.

RÉSUMÉ

L'évolution des façons de concevoir et de classifier les sols gleysoliques au Canada depuis le début du siècle a suivi les progrès de nos connaissances à leur sujet, tant ici qu'à l'étranger. Certains des problèmes courants éprouvés dans la classification de ces sols découlent du parti pris voulant que la systématique des sols doive être compatible avec leur régime hydrique. Or la séparation des deux aux niveaux supérieurs est plus instructive. Bien qu'on ait cherché une gamme de critères plus perfectionnée, la couleur du sol demeure encore la propriété la plus utile qu'on connaisse pour distinguer les sols gleysoliques des autres. Les résultats de propositions récentes en vue d'améliorer les critères de l'ordre gleysolique sont intégrés à un projet de révision de cet ordre. Du travail supplémentaire s'impose pour résoudre un petit nombre de problèmes encore en suspens, mais les besoins de recherches sur les sols gleysoliques sont mineurs en regard de ceux découlant des autres problèmes pédologiques. Le système révisé nécessite des essais dans toutes les régions et la description des problèmes qui surviennent.

INTRODUCTION

Dissatisfaction with the criteria for distinguishing soils of the Gleysolic order have been expressed at soil survey meetings since the Canadian system of soil classification was published (Canada Department of Agriculture, 1970). For example, in 1970, the addition of a Pseudogleysol great group was among the proposals (McKeague, 1970) and in 1973, nine proposals for change were discussed (Smith, 1973). At recent meetings of the Expert Committee on Soil Survey (ECSS) development of improved criteria for soils of the Gleysolic order was assigned a high priority in research on soil classification (Day, ed. 1979, 1980, 1981). Such research was initiated in 1981 and the proposals developed were considered at the ECSS meeting in 1984 (Tarnocai, 1985). Some of them were accepted but the need for further specific work was indicated. The persistence of the problem of defining adequate criteria for the differentiation of Gleysolic soils suggests its complexity.

The purposes of this report are to review briefly the developments in concepts and classification of Gleysolic soils in Canada, to summarize results of research on the problem, to indicate the rationale behind current proposals for changes in classification, to redraft the chapter on the Gleysolic order on the basis of proposals accepted at the last ECSS meeting (Tarnocai, 1985), and to comment on further requirements for research.

REVIEW OF CONCEPTS AND CLASSIFICATION OF GLEYSOLIC SOILS

Developments Prior to 1963

Soils currently classified as Gleysolic have been distinguished in soil mapping and classification since soil survey began in Canada. In the earliest survey in Ontario "drainage" was a series criterion (Ruhnke, 1926). These series, lowest category in a three category system, were broadly defined; only nine were identified in southern Ontario. Ellis (1932) included a hydromorphic associate at the third level from the top in his four category field classification system. According to him, characteristics of extreme hydromorphism were a glei horizon, reduction processes and mottled subsoil colors. He did not define a precise limit between hydromorphic soils and the better-drained associate (phytohydromorphic) but the decision was to be based on soil morphology. Ellis (1932) wrote, "Although associates are determined very largely by relief or position, they must not be mapped on position but on the basis of the morphological features expressed within the soil profile,".

In the first proposed national system of soil classification (Stobbe, 1945), wet soils were differentiated in the fourth category of the seven-category system. No specific criteria were given in this general field classification system. Stobbe (1955) outlined the first "natural" or "taxonomic" system of soil classification in Canada It included Gleysolic soils as one of the seven classes in the highest (sixth) category (order). The class was defined as follows: "Soils with peaty (less than 12") or mineral surface high in organic matter, or both, and dull colored subsoils (with chroma of 1 or less or not higher than the parent material), and/or with brighter colored prominent mottles". The definition was centered on soil

drained soils developed under various climatic and vegetative conditions in the presence of high or strongly fluctuating water table". Classes in categories five (great group) and four (subgroup) were named but not defined.

The spelling changed but the definition of the Gleysolic order remained essentially the same for the next several years (Ehrlich 1958, 1960). Though the criteria were not specific, the concept of Gleysolic soils included their association with periodic or permanent saturation with water and reduction. Mapping of Gleysolic soil, however, was probably based at least as much on vegetation and position in the landscape as on soil properties. Few, if any, specific data were available on the magnitude of water table fluctuations and of oxidation-reduction potentials in soils of Canada. Though mottling was noted in soil descriptions, few detailed descriptions of the abundance, size and shape of mottles and the color of mottles and matrix had been done in Canada.

Developments From 1963 to 1981

The more precise color criteria of Gleysolic soils introduced in 1963 (Ehrlich, 1963) were based upon similar criteria for Aqu-suborders outlined in the 7th Approximation (Soil Survey Staff, 1960). These criteria based upon low chromas of the soil matrix and prominent mottles had not been tested in Canada. Gleyed subgroups of other orders were defined only in general terms in Canada.

The color criteria for Gleysolic soils have remained essentially constant since 1963. The only basic changes are: gley colors and/or prominent mottling were required to occur within 50 cm of the mineral surface in 1968 and prominent gray or brown mottles in materials of reddish color was added as a criterion in 1978 (Canada Soil Survey Committee, CSSC, 1978). Some changes in definition of the order were introduced in 1968 when "under reducing conditions" was mentioned in addition to saturation with water (McKeague, 1968). An oxidation - reduction potential of less than 100 mv within the upper 50 cm was also mentioned as a possible criterion. The emphasis on reduction was justified on the grounds that soils could be saturated with water for a month or more without being depleted of oxygen and gleyed. Wet soils on slopes (moving aerated water) and soils saturated only when the temperature is close to 0°C were given as examples.

Suggestions for changes in the Gleysolic order (McKeague 1970) and (Smith, 1973) show the continuing dissatisfaction with differentiation of classes within the order, definitions and criteria. For example, the question of whether to split groundwater gleys from psueudogleys has been raised frequently. The inadequacy of criteria for distinguishing gleyed subgroups from Gleysolic soils is a persistent topic; regional criteria have been considered but dropped in favor of maintaining a national system (Smith, 1973). The current system (CSSC, 1978) is somewhat more specific than previous versions in indicating limits between Gleysolic soils and soils of other orders but the basic color criteria remain unchanged with the exception for reddish materials mentioned in the previous paragraph. Perhaps the major change is the attempt to state the rationale of the system and the associated

implications to Gleysolic soil classification.

Confusion has resulted from a contradiction between a general statement of the criteria and the specific criteria. The general statement on page 69 (CSSC, 1978) is: "Gleysolic soils have within 50 cm of the mineral surface either matrix colors of low chroma or distinct to prominent mottles of high chroma,". The specific criteria, however, require within 50 cm chromas of 1 or less without mottles or chromas of up to 3, depending on hue, accompanied by prominent mottles. The consequences of this contradiction can be seen from the following examples. Suppose that a horizon at a depth of 20-50 cm has a matrix color of 10YR 4/3 with mottles 10YR 4/6. This would be diagnostic of a Gleysolic soil according to the general statement quoted; distinct mottles occur within 50 cm. Application of the specific criteria would exclude the soil from the Gleysolic order; matrix chroma is too high and the mottles are not prominent. The specific criteria were intended but the statement of Gleysolic order criteria is ambiguous.

Distinct and prominent mottles are defined in slightly revised terms from Day (1983) as follows:

Distinct mottles commonly have the same hue as that of the soil matrix but differ by 2 to 4 units of chroma or 3 to 4 units of value; or, they may differ from the matrix color by 2.5 units (1 Munsell page) of hue but by no more than 1 unit of chroma or 2 units of value.

Prominent mottles that have medium chroma and value commonly differ from the soil matrix color by at least 5 units of hue if chroma and value are the same; at least 4 units of value or chroma if hue is the same; or at least 2 units of chroma or 3 units of value if the hue differs by 2.5 units. The last part of the definition differs from that of Day (1983) in order to avoid ambiguity between distinct and prominent.)

This summary of developments indicates two major steps in the classification of Gleysolic Soils. The first occurred in 1955 when the change was made from a field classification system (Stobbe 1945) to a "Taxonomic" system (Stobbe, 1955). The consequences of this change can be indicated by an example. Consider an area of undulating morainal soils in the Edmonton area of the Interior Plains. The field classification of an area, A, several kilometers square from the highest to lower levels would probably be: Grassland soil region, Black Earth soil zone, Deep Black Earth sub-zone, E association (depending on parent material), x, y, z etc. associates (the number would depend on local differences in drainage, salinity, etc.). Thus, to the fourth level, area A was a single entity in the field classification system just as it might be a single delineation of a map unit in today's terms. In the 1955 System, area A would almost certainly include soils of two classes at the highest level, Chernozemic and Gleisolic, and it might also include some Halomorphic and some Organic pedons. Area A might be designated using the 1955 system, as a delineation of map unit E including dominantly Black soils developed in weakly-calcareous till of clay loam texture, with Meadow and Podzolic Glei soils occupying the depressions, approximately 20% of the area, and minor inclusions of Black Solonetz soils.

The 1945 system was a system for classifying map units; the 1955 system was designed to classify soil individuals within map units. Thus, as shown in the example, a logically established map unit might include several classes of soil even at the highest categorical level. Though this consequence was understood by Stobbe (1945, 1955) and though it imposes no constraint on the way soils are mapped, it is viewed as a problem by some pedologists to this day.

The second major change occurred in 1963 when relatively precise criteria were introduced for Gleysolic soils (Ehrlich, 1963). This was done, in part, because of the lack of uniformity in soil classification based on general definitions of classes. The recently published criteria developed in the United States (Soil Survey Staff, 1960) served as a ready-made recipe to try. Application of those and somewhat modified criteria that followed resulted in assignment of pedons to classes that were at odds with local concepts of how the soils should be classified. Some ignored the criteria and others applied them and suggested the changes that have been discussed at numerous national soil survey meetings.

The developments in classification and concepts of Gleysolic soils in Canada have evolved as a result of both developments in other countries and research in Canada.

RESEARCH RELATED TO GLEYSOLIC SOILS

The vast literature on gley phenomena and processes in soils is not reviewed fully; rather, we attempt to summarize some major findings and their consequences on soil classification in other countries, and to provide more complete coverage of research in Canada.

Developments in Other Countries Prior to 1960

The phenomenon of gleying and its association with waterlogging, lack of oxygen, reduction of iron, drab gray, greenish or bluish gray colors has been known in soil science from the early years of this century (Joffe, 1936; Bloomfield, 1949) if not before. In many countries of western Europe, surface water gley (pseudogley) and groundwater gley soils have been considered as different classes at the highest level for more than thirty years (Muckenhausen, 1963, see also papers in Pseudogley and Gley, E. Schlichting and U. Schwertmann, eds. 1973). In North America, this distinction was not made. It was understood from work such as Bloomfield's (1951) that in saturated soils with available energy sources, respiration of heterotrophic bacteria resulted in depletion of oxygen, reducing conditions and transformation of Mn(IV) and Fe (III) to reduced, more soluble forms. Removal of ferric oxide coatings resulted in the drab gray color of some gley soils; others were greenish-or bluish-gray due to formation of colored ferrous compounds. Localized oxidation of Fe(II) and Mn (II) and deposition of the oxides resulted in brown to black mottling.

The United States System, 1960

Soils with properties reflecting a major influence of periodic saturation

and reduction were classified in the 7th approximation as Aqu suborders of seven of the ten orders, replacing the former Humic Gley, Low Humic Gley and Half-Bog great groups (Soil Survey Staff, 1960). These great groups had been in the Hydromorphic suborder of Intrazonal soils (Thorp and Smith, 1949). The relatively precise criteria stated for the new Aqu suborder had common elements but they differed in detail from order to order. For example, low chromas, depending on hue, accompanied by prominent mottling at some specified depth were diagnostic of all Aqu suborders, with the exception of an Ae horizon of Mollisols. A histic epipedon alone, however, was diagnostic of Aquents, Aquepts, Aquolls and Aquods, but not of Aqualfs and Aquults. The criteria were based upon generalization of properties of pedons that had been described, and on limited testing of the resulting classification of other pedons in relation to the apparently appropriate classification. In Canada, we adopted only the color and depth criteria specified for Aquents and Aquepts as diagnostic of Gleysolic soils (Canada Department of Agriculture, 1970).

Research in Canada to 1960

Nearly all of the information about soils that would now be classified as Gleysolic came from soil survey work. Such soils were described in reports from all provinces and analytical data were given for some of them. During the last decade of the period matrix colors were indicated by Munsell units in some reports but mottles were described only in general terms, such as rusty mottles. The paucity of specific research on processes and properties of Gleysolic soils is evident from Atkinson's (1971) bibliography, where there are no entries under gley or Gleysolic prior to 1960.

Ignatieff's (1937, 1941) work on ferrous iron in soils was probably the first published Canadian research related to processes involved in Gleysolic soils. He found that aqueous $AlCl_3$ (3% solution) was an effective extractant of Fe(II) in soils and his results indicated that it did not reduce Fe(III). Waterlogging of soils resulted in marked increases of extractable Fe(II). Only minor amounts of Fe(II), however, were in solution in waterlogged columns of soil. Thus, much of the reduced iron must have been absorbed as exchangeable Fe(II). Ignatieff (1941) showed that his field test for Fe(II) involving extraction of soil with $AlCl_3$ and color development with dipryridyl yielded only traces of Fe(II) in well-drained soils, and appreciable amounts in waterlogged scils. After aeration of waterlogged samples, extractable Fe(II) decreased markedly thus indicating rapid oxidation. Sterilized waterlogged samples yielded only minor amounts of Fe(II) relative to unsterilized, waterlogged samples of the same soil. This indicated that reduction of iron is largely a biological process.

To our knowledge, this work had little influence either at the time of publication or decades later when bases of specific criteria for Gleysolic soils and useful field tests were sought. No record is available of thorough checking of the usefulness of the field test proposed, though use of $AlCl_3$ as extractant was questioned by Bloomfield (1951). Recently, Childs (1981) recommended a similar procedure for use in New Zealand.

McKeague (1958) studied the properties and genesis of "slough podzols" or "bluff podzols", gleyed soils with eluvial horizons in depressions in the

subhumid prairie region. They differed from the associated Chernozemic and Gray Wooded soils in their drab colors and mottling, and probably in their redox potentials as indicated by studies of soil columns in the laboratory. He concluded that many such soils should be classified in the existing system (Stobbe, 1955) as Gray Wooded Glei but that Eluviated Glei would be a better name. Some of the soils, however, were thought to belong with the imperfectly drained Gray Wooded class.

McKeague and Bentley (1960) reported that redox potentials of soil in columns with ground aspen leaves at the surface responded to fluctuations in water table. Potentials of -150 to -200 mv were measured in the permanently saturated column and Fe(II) was present in the leachate. Potentials in freely drained columns were +600 to +700 mv. With no organic matter added, redox potentials did not decrease on waterlogging.

Research in Europe since 1960

Papers in Gley and Pseudogley (Schlichting and Schwertmann, eds., 1973) reflect the state-of-the-art on gleyed soils particularly in Europe, in 1970. In most European countries, groundwater gley and pseudogley soils were, and still are, distinguished at a high level in classification systems. Basic supporting data on water regimes, soil morphology and redox conditions at different depths, however, are not convincing. Some of the data for surface water gley soils can be interpreted as indicating high groundwater tables (Thomasson, 1973). Many soils probably are influenced both by groundwater and temporarily perched surface water. The split betwen pseudogley and groundwater gley soils is based more on concepts of genesis than on either clearly documented evidence of different water regimes or distinctive soil properties that indicate the cause of gleying (Muckenhausen, 1965). Some of the concepts involved and a number of the gley types included in the French system are given by Duchaufour (1982).

Papers at the Gley and Pseudogley conference (E. Schlichting and U. Schwertmann, eds., 1973) and discussions during the associated field trips indicated the prevailing concepts of relationships between soil morphology and kind of gleying. An interpretation of those concepts follows. Soils having high groundwater tables should have a gray unmottled horizon below the general maximum depth of the water table. Above this horizon in the zone that is saturated periodically, the soil should be gray with reddish brown to black nodules or coatings of iron oxide or of iron and manganese oxides. These oxides should tend to occur at the surfaces of peds because Fe(II) and Mn(II) within the waterlogged soil should diffuse to the drying surfaces of peds when the water table falls. Hence oxidation and deposition should occur at or near the ped surface. In some cases, Fe and Mn oxides may be deposited in a horizon above a relatively stable water table. In pseudogley soils, on the other hand, reduction is considered to be most intense at the surfaces of peds in the soil above the relatively impermeable horizon. It is plausible that water carrying some organic material fills the large interped pores after heavy rains, microbial activity depletes the oxygen, reducing conditions develop and Fe(III) is reduced near the surface of peds. Some of the Fe(II) formed migrates with the soil solution toward the unsaturated interior of the ped where it may be reoxidized. Thus pseudogley soils tend to have bleached

ped faces and Fe rich nodules or other deposits within the peds above the relatively impermeable layer.

Testing of these concepts in relation to the morphology of soils designated as groundwater gley or as pseudogley showed that they were not adequately valid. Some soils had both bleached ped faces and reddish brown, presumably iron-enriched ped faces. There seemed to be no consistent difference in gley morphology of soils designated groundwater gley and pseudogley.

The same problem between concepts and morphology of presumed groundwater and surface water gley soils was evident on the excursion in England that followed the 1981 micromorphology meeting (Murphy and Bullock, eds. 1981). Mr. Avery, author of the British classification system (Avery, 1980), expressed doubts about the desirability of the separation of surface and ground water gley soils at the major group level. The separation in the British system is based mainly upon whether or not there is a slowly permeable (Ksat horizontal 10 cm day^{-1}) subsurface horizon.

Ponnamperuma (1972) summarized the chemistry of submerged soil including many of the basic data required for calculating equilibria in soil systems under various oxidation reduction conditions. He showed that the sequence of reduction in soil systems is as follows: oxygen, nitrate, manganese, iron, sulfate. Despite the theoretical and practical problems involved in obtaining reliable redox potential measurements in soil, he reinforces the view that measurement of the redox potential of a soil provides a quick, useful, approximate measure of its oxidation-reduction status.

Brinkman (1970) introduced the concept of "Ferrolysis" to explain the low pH of some gley horizons near the soil surface. This proposed mechanism is summarized following Bouma's (1983) explanation. When a soil is reduced, ferrous iron replaces some of the exchangeable bases and Al. The displaced cations may be leached laterally and downward from the horizon. Upon aeration and oxidation, exchangeable Fe(II) would be oxidized producing ferric hydroxide and hydrogen ions; $Fe(II)+3H_2O = Fe(OH)_3+3H^+$. The hydrogen ions would attack silicate minerals if carbonates were absent, releasing Al which would dominate the exchange complex and perhaps form interlayers in clays.

The mechanism is plausible under certain conditions: absence of carbonates, effective removal of solutes, negligible upward movement of basic cations from below the water table. It is probably a minor process in most Gleysolic soils in Canada as Aeg horizons of Gleysolic soils do not typically have lower pH values than corresponding horizons of the associated soils.

Siuta (1967) summarized some of the eastern European views on gley phenomena in relation to water regimes. In his view, gley phenomena can be used effectively to assess water regimes and oxidation reduction conditions of soils if differences associated with texture are taken into account.

Zaydel'man (1984) concluded, however, that soil classification based on morphological characteristics associated with hydromorphism are inadequate.

He suggested development of a system based upon ecological-hydrological principles but specific definitions of classes were not given.

Murphy (1984) reported detailed information including micromorphological features of surface water gley soils in England. Many of the gleyed horizons had neoalbans (bleached ped surfaces) but some also had neoferrans or neomangans (surfaces stained with iron or manganese enriched material). The micromorphological features, though interesting, do not appear to be a useful basis for differentiating Gleysolic soils.

Research in the United States since 1960

Some results of research in the United States are reflected in the criteria of Aqu suborders in Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) as compared with those in the 7th Approximation (Soil Survey Staff, 1960). For example, in the case of Aquents specific color criteria are given in Soil Taxonomy for soils that are permanently saturated with water as opposed to those that are saturated periodically. In addition, color criteria depend, to some degree, on texture. For Aquolls, the diagnostic color criteria apply to the material, "immediately below the mollic epipedon, or within 75 cm of the surface if a calcic horizon intervenes", (Soil Survey Staff, 1975). Also, a calcic or petrocalcic horizon that has its upper boundary within 40 cm of the surface is diagnostic of Aquolls for Mollisols that do not have an albic horizon, and that either have an aquic moisture regime or are artificially drained. Similarly, the diagnostic criteria of other Aqu suborders were modified on the basis of information obtained between 1960 and approximately 1970.

Some of the more recent findings on relationships between soil water regime and gley morphology in soils of Wisconsin were summarized by Bouma (1983). He showed diagrammatically some relationships between pressure potential of soil water, redox potential and gley phenomena. For example, according to the diagram, matrix chromas below 2 are most common in water saturated horizons having redox potentials such that Fe and Mn are in reduced states throughout the year. Manganese coatings and nodules are indicated as being most common in horizons that are saturated for only brief periods and that have redox potentials such that Mn is reduced for brief periods while Fe remains oxidized. Similar relationships between water regime and gley morphology were reported by Anderson (1984) for soils of Minnesota. Franzmeier et al. (1983), however, found that some Indiana soils that were saturated for prolonged periods had matrix chromas of 3. Vepraskas and Wilding (1983) reported on soils in Texas having aquic moisture regimes and matrix chromas of 3. They suggested that albic neoskeletons (bleached ped surfaces partly depleted of clay) are diagnostic of aquic regimes.

Several other recent publications report on specific relationships between gley morphology and either soil drainage class or measured water table fluctuations. Richardson and Hole (1979) noted gray mottles in moderately well and somewhat poorly drained soils; ped surfaces in the latter were of lower chromas. Poorly drained soils in the Glossoboralf Haplaquoll sequence in northwestern Wisconsin had gray albans (bleached ped surfaces) and Fe Mn nodules. The very poorly drained soils had thick albans underlain by

quasiferrans (iron enriched subsurface deposits) and gley colors. Zobeck and Ritchie (1984) concluded that for the soils they studied in Ohio, low chroma mottles implied a greater degree of saturation with water than ped coatings of the same color value and chroma (4/2).

Pickering and Veneman (1984) and Veneman and Bodine (1982) described colors and mottling in detail in coarse to medium textured soils with fragipans in Massachusetts. They found that terminology used in micromorphology (Brewer, 1964) was helpful in describing mottling patterns and that morphology indicated water regimes and oxidation reduction conditions.

Overall, considerable research has been reported in the United States recently showing relationships between measured or inferred soil water regimes and gley phenomena such as low chromas and mottles of high and low chromas. The tacit assumption is made in some of this work that the present water regime is the same as that prevailing during soil genesis. In general, the results suggest that observable gley phenomena depend not only upon current and previous water regimes and redox conditions but also upon the nature of soil material and perhaps on other factors. The present morphological criteria (Soil Survey Staff, 1975) diagnostic of Aqu suborders are not adequate in indicating aquic moisture regimes in some soils.

Research in Canada 1960-1981

Research related to Gleysolic soils was probably motivated mainly by two developments since 1960:

1. Increased focus on soil water regimes by the CSSC. Matthews (1963) defined soil moisture classes in terms of duration of water content in excess of field capacity; formerly these classes were based on morphology (color and mottles). The focus on wetness per se encouraged work on direct measurement of soil water. McKeague (1970) recommended the development of a system for classifying the various aspects of the soil water regime such as water table, water content and infiltration. The need for long term data at well-chosen sites was stressed and sources of some of the available data on water tables, hydraulic conductivity etc, were summarized. Discussion of soil water regime characterization continued under the chairmanship of Mackintosh (1973, 1976) and a new system was recommended for trial in 1981 (Nowland, 1981). The system classifies several attributes of the soil water regime: aridity index, soil transmissibility, saturated zone, seepage, year-round water state. This specific framework will undoubtedly lead to increased data collection and testing of the system.

2. The advent of specific criteria in soil classification in Canada after 1963 (Ehrlich, 1963). Pedologists were encouraged to test the low chroma and mottling criteria on the soils being mapped. Problems were identified and some of them became the topics of research.

Some specific examples of research related to Gleysolic soil classification are outlined; undoubtedly some of the relevant publications will be missed.

A. Field studies relating soil water table to soil color, mottling, redox potentials, etc.

McKeague (1965 a and b). Data on water tables and redox potentials were reported for a two year period at 3 uncultivated sandy soil sites and 3 uncultivated clayey soil sites of differing degrees of wetness near Ottawa and soil samples were analyzed. In general, redox potentials reflected the water table; potentials below 100 mv occurred only in saturated soils. Low chromas and prominent rusty mottles occurred only in horizons subject to periodic saturation. In the poorly drained sandy soil, there was a marked accumulation of dithionite-extractable Fe above the summer water table level. This and like soils were the basis of the Fera subgroups of Gleysolic soils first defined in 1965 (Ehrlich, 1965). In general, the results of this study were consistent with the conceptual model of relationships among water table, redox potentials and soil morphology.

Crown and Hoffman (1970) undertook to determine whether kinds of mottles could be related to the depth to water table. They described four profiles on a 2% slope, measured the water table regularly from May to the end of August and noted that the water table was at the surface at all sites in October. A trend was reported for more diffuse mottle boundaries and increase in mottle size and abundance with increased duration of saturation of the horizon.

Macyk et al. (1978) measured water table, water content, temperature and redox potential at seven sites on a till knob near Edmonton from May through October for a 2-year period. Soils were described and samples were analyzed. They reported relationships among water table, redox potential and soil morphology.

DeKimpe et al. (1974) studied soil morphology, water table and redox potential at 5 sites on a slope near Quebec City. The general findings were similar to those of McKeague (1965 a and b) though they reported reducing conditions and gley mottles in a horizon that was saturated periodically but was never below the water table as measured in a well with a perforated lining.

Michalyna (1974) and Michalyna and Rust (1984 a and b) reported on studies of clayey and sandy soils in southern Manitoba. They measured water table, redox potential, temperature and groundwater composition in some of them. Some of the soils classified as Gleysolic (Michalyna, 1974) had water tables that remained below 1 m and high redox potentials throughout the period of measurement. In some, water was ponded at the surface in the spring over frozen subsoil and low redox potentials were measured near the surface.

All of the soils had matrix colors of relatively low chroma (usually 1 or 2) and most of them had distinct to prominent mottles at some depth. Current criteria were not adequate to distinguish some of the pedons that were classified on the basis of early concepts as Humic Gleysols from some of those classified as Black (Chernozemic). Several of the sandy soils had light gray, carbonated subsurface horizons.

Most of these few studies and similar studies done in other countries show

a good general relationship among water table, redox potential and morphological indicators of oxidation-reduction but there are exceptions. Few of the studies report morphology in adequate detail to aid in evaluating the specifics of morphological criteria of gleying and in some of the publications there is little relationship between the reported Munsell colors of matrix and mottles, and the adjective used to describe prominence of the mottles.

B. Other Studies Involving Analysis of Samples of Gleysolic Soils.

Michalyna (1971) reported detailed morphological and laboratory measured properties of eluvial soils in Manitoba ranging from Orthic Gray Luvisol to Humic Eluviated Gleysol. In his view the color and mottling criteria were not entirely adequate for distinguishing Eluviated Gleysols from Gleyed Gray Luvisols. Extractable Fe and total Mn data were useful in distinguishing the soils studied. For example, total Mn maxima occurred at progressively lower depths in progressively more strongly gleyed soils. Also, ratios of oxalate to dithionite extractable Fe in BC horizons were progressively higher for progressively more strongly gleyed soils.

McKeague et al. (1971) analyzed five gleyed soils having B horizons with prominent rusty mottles, possible Fera Gleysols. All of the soils whether acid or neutral had maxima of dithionite-Fe in a prominently mottled B horizon but only two of them met the requirement for a Fera subgroup (Bgf horizon, at least 1% more dithionite-Fe than the associated C horizon). Geothite was detected in most of the rusty mottles analyzed.

Michalyna (1974) and Michalyna and Rust (1984 a and b) found that distribution with depth of Fe and Mn and the ratios of oxalate to dithionite Fe in soils of the Red River-Osborne and the Almasippi associations did not follow the trends noted in a previous study of Gleyed Gray Luvisols and Luvic Gleysols (Michalyna, 1971). Soils of the sandy Almasippi association had low levels (0.1-0.2%) of dithionite-Fe (Fe_d) in the A horizon. There were no maxima of Fe_d in mottled horizons.

Stonehouse and St. Arnaud (1971) showed that Gleysolic soils differed from Chernozemic, Solonetzic and Luvisolic soils of Saskatchewan in having a high ratio of oxalate to dithionite extractable Fe (Fe_o/Fe_d) in the Ae horizon. They suggested that Gleysolic soils might be separated from others on the basis of an Fe_o/Fe_d ratio $\geq$ 0.35 in the upper horizons.

C. Other Related Research

Eilers (1973) completed an important study in which he related groundwater flow to soil morphology in southwestern Manitoba. He showed definite relationships between groundwater flow and soil properties. For example, eluviated soils were associated with groundwater recharge areas whereas saline and carbonated soils occurred in discharge areas. The work shows the importance of considering point information on water tables and soil morphology in the context of information on groundwater flow systems of the area generally. Similar studies have been done recently in Saskatchewan (Miller, 1983).

Mackintosh and Van der Hulst (1978) measured water tables of well, imperfectly, poorly and very poorly drained soils of five catenas in Ontario. The drainage classes were assigned according to soil morphology and landscape position. The authors calculated the number of days that a soil contained free water at various depths from 30 to 150 cm and related the duration of saturation at these depths to drainage classes. Though duration of saturation at a given depth was longer, in general, for increasingly poorly drained soils, there was much overlap between classes. Variation of duration of saturation within a drainage class was great. In terms of the Gleysolic order - Gleyed subgroups problem, the results could be interpreted as further evidence that soil "wetness" classes are not the same as "degree" of gleying classes.

McKeague (1965c) studied the effect of nature of soil material on evidence of gleying in samples subjected to controlled water table conditions in the laboratory. Gley phenomena (gray colors and rusty mottles) developed most clearly and rapidly in samples of brownish color that contained organic matter. Little change occurred in a sample of gleyed, gray clay regardless of treatment. Low redox potentials developed much more rapidly at room temperature (approx. 23°C) than at 5° or especially at 1°C. Potentials below 0 mv did develop, however, in some samples maintained at 1°C.

PROGRESS REPORT ON RECENT RESEARCH

Field Trip in Manitoba and Saskatchewan, June 8-12, 1981.

We looked at a variety of soils developed in water-deposited clays and sands, and in till; most were classified as either Gleysolic soils or Gleyed subgroups of Chernozmic soils. The trip was a good example of the fact that there is no substitute for seeing the soils in the landscape with the people who map, correlate, and interpret them for various uses. Problems in soil classification have to do with personal and regional concepts, history, concerns about interpretations, and various other issues in addition to the complex problems of dividing the continuum of soil properties into unambiguous classes that make sense.

Some of the soil problems noted were:

1. Soils with a chernozemic A underlain by a horizon at a depth of approximately 25 cm enriched in secondary carbonates and gray (5Y 4/1). Below this horizon the calcareous material may or may not be mottled. Strict application of the current criteria (CSSC, 1978) would result in classification of such soils as Humic Gleysols. The carbonated horizon has a chroma of 1 or less. The low chroma may be due, however, to the color of the secondary carbonate and not to reduction. In Soil Taxonomy, such a soil would be an Aquoll because a calcic horizon within 40 cm is diagnostic if either an aquic moisture regime or artificial drainage are assumed. In the FAO legend (FAO-Unesco, 1974) it would be a Chernozem (not a Gleysol because the calcic horizon is not diagnostic of Gleysols). It might be desirable to exclude the color of a carbonated horizon as an indicator of gleying and to base the classification on properties of the

horizons above and below. On the other hand, perhaps the presence of a carbonated horizon near the surface indicates that the soils were formed under high water table conditions (presumably reducing) and that cultivation, roads, etc have resulted in lower water tables.

2. Prominently mottled sandy soils on slopes (Long Plain site). Though the mottles below the Ah were prominent, the matrix chromas were 2 to 3. Insisting on matrix chroma of 2 or less accompanied by prominent mottles would exclude the soil from the Gleysolic order, but problems might arise elsewhere.

3. Clayey soils with chromas of 1-2 and some barely-visible rusty mottles below the black Ap (Red River-Osborne soils). Present water tables in these soils are not close to the surface but they might have been subject to annual flooding before the area was settled.

4. Rusty mottles indicative of gleying in soils that appear otherwise to be "well drained". A soil on the upper slope in a hummocky till area near Carlyle, Sask. had distinct brown mottles in the Bm horizon (10-18 cm), and there were some prominent mottles in the underlying horizon. It is possible that the soil was gleyed due to saturation of the upper material above frozen subsoil in the spring (Michalyna, 1974). Gley phenomena are very common in horizons overlying permafrost in Cryosolic soils (Zoltai and Tarnocai, 1974).

In addition to soil problems there were problems associated with different concepts. Some of these are:

1. Some pedologists equate Gleyed subgroups with imperfect drainage and Gleysolic soils with poor or very poor drainage. Others consider the drainage classes as indicators of relative wetness; Gleysolic soils are based on evidence of periodic or prolonged reduction during their genesis. Thus, an area that was flooded every spring before road ditches provided drainage might now be saturated only rarely. Soils of the area might be Gleysolic (evidence of reduction) but moderately well drained now though they were formerly poorly drained.

2. To a degree, each observer sizes up the nature of the soil and site, decides how the soil should be classified, and then focuses on the soil properties that support the decision, while paying scant attention to properties that do not fit. Of course, it is essential to describe soil properties objectively, but few succeed entirely. Thus, some could see mottles and others could not; some read chromas of 3 and others noted chromas of 1 or 2.

3. There is a strong tendency for individuals working in a particular area to use the whole range of soil classes available to flag differences in degree of gleying or other features. Thus, at the subgroup level, there are only three classes of gleying to apply to all of the soils of Canada: Orthic subgroups, Gleyed subgroups, and Gleysolic soils. In a local area, though there may be differences in degrees of gleying, all of the soils may fit into one or two of these classes. The differences can be

indicated as phases of subgroups or at the series level.

4. Some of the differences in concepts are due to ambiguities in the classification system (CSSC, 1978) as mentioned previously.

5. Some pedologists feel that the earliest concept of genesis and classification of the soils of an area was "right" and that refinements based on additional data, increased knowledge and further pondering should not alter the initial classification.

Visits to soil-hydrology sites near Deloraine and Hamiota were very convincing in showing the usefulness of having a feel for and data on groundwater flow in the area where soils are being studied (Eilers, 1973).

Soil Classification-Correlation Tour, B.C., Aug. 19-21, 1981.

Problems in classification of Gleysolic soils and gleyed subgroups were among those considered by Tarnocai with B.C. pedologists. After observing soils in the Lower Fraser Valley, Vancouver Island and Saltspring Island and discussing criteria the group reached the following conclusion:

Two basically different conditions occur in wet soils:

(a) reduced conditions indicated by matrix colors of low chroma (gray and greenish-gray) which are usually associated with stagnant water; and (b) mottled conditions which result from alternating reducing and oxidizing conditions and are associated with a fluctuating water table, periodic perched water table or prolonged saturation during long periods of high rainfall.

The following criteria were tested during the tour and found to be workable for Gleysolic soils and gleyed subgroups of other orders. These criteria have already been used, to a limited extent, for classifying these soils in the Langley-Vancouver Soil Map Area.

Gleysolic - Gleysolic soils have features indicative of prolonged saturation with water which results in the development of reducing conditions. These soils have matrix colors of low chroma (colors usually fall on the 5Y and Gley color charts) within 50 cm of the mineral surface. The horizons of these soils are designated with the suffix "g" (e.g. Bg, Cg).

Gleyed Subgroups - The gleyed subgroups of other orders have features indicating fluctuating water table or reducing conditions below the 50 cm depth. The fluctuating water table results primarily in the development of mottles. The horizons associated with these mottles are indicated by adding the suffix "gj". Following examination of soils during the tour, the following criteria were developed:
Gleyed subgroups have distinct or prominent mottles above the 50 cm depth but do not display reduced (gray) colors. The mottled layer must be greater than 10 cm thick and the upper half of this layer must be above the 50 cm depth. If

mottling occurs in alternate layers, the total thickness must be greater than 10 cm and at least half of this should occur above the 50 cm depth. These soils may or may not have reduced horizons within the control section. If reduced horizons occur, these must be below the 50 cm depth.

Some participants indicated that problems arose when these criteria were applied to those soils with inherent dark parent material (e.g. material derived from shales) and to soils with large amounts of free carbonates present. Since the reduced colors and mottles are difficult to observe in these soils, it was suggested that, for these soils, additional information (such as the presence of a peaty surface horizon, depressional landscape position, vegetation, and occurrence of long-term ponding) should be used. In some climatic regions a peaty surface layer indicates saturation.

Conclusions of the B.C. group are compatible, in part, with suggestions emanating from the Manitoba-Saskatchewan field trip. For example, insisting on low matrix chromas (how low must be decided) within 50 cm of the surface for Gleysolic soils was mentioned by both groups. The criteria proposed by the B.C. group (if reduced colors imply chromas of 1 or less), however, would result in shifting the Gleysolic order - gleyed subgroup boundary far toward the Gleysolic side; they would result in reclassification as gleyed subgroups of many soils currently designated as Gleysolic; for example, soils having above 50 cm horizons that are prominently mottled with matrix chroma of 2.

Carbonated Samples

Samples of a few carbonated horizons sent by Michalyna were flooded with water for several months and Ept was read periodically. Ept readings did not fall below 350-400 mv and no ferrous iron was detected in the water. Addition of half a gram of sucrose to some of the samples brought about a rapid drop of Ept to -300 mv, and a ferrous iron was readily detectable in solution. Reduced carbonated samples became distinctly more greenish in color (5GY) though they were gray (5Y 6/1) initially. These samples had very low dithionite extractable Fe contents (0.1% or less) and most of them contained less than 0.5% organic carbon. Subjecting them to several oxidation reduction cycles did not result in the formation of distinct rusty mottles.

These preliminary results are consistent generally with those of Michalyna (1974) working with similar soils. He found that low Ept values did not occur in columns of Almassippi soils unless the Ap was saturated. Apparently, the subsurface soil does not provide an adequate energy source to promote microbial growth and thus deplete oxygen. Ah horizon material or sucrose provides the required energy source. McKeague (1965c) on the other hand measured low Ept values in some flooded B and C horizon samples maintained at room temperature. In this case, the tubes containing the samples were stoppered; thus there would be little diffusion of oxygen into the samples.

B.C. Samples

Five pedons of Gleysolic soils or Gleyed subgroups, some of which were

difficult to classify, were described and sampled by the B.C. soil survey. The samples were analyzed in the Kelowna laboratory and thin sections were prepared described and analyzed in Ottawa. Improved criteria were sought for setting the limit between Gleysolic soils and Gleyed subgroups. An analysis of the results shows that four of the five pedons were classified appropriately in the view of B.C. pedologists if the specific color criteria given on page 69 of the Canadian system (CSSC, 1978) were applied (McKeague et al. 1985). The other pedon, classified as Bates series, definitely met the color criteria specified for the Gleysolic order though the water table now is rarely within 1 m of the surface. Prior to drainage, however, the water table was probably at or near the surface for prolonged periods. Thus the pedon is appropriately classified as Gleysolic because during most of its period of genesis it was presumably subjected to reducing conditions during part of each year. Drainage has resulted in lowering the water table and the soil is no longer poorly drained. Chemical and micromorphological data did not provide an improved basis for differentiating Gleysolic soils from gleyed subgroups of other orders (McKeague et al. 1985).

PROPOSALS DEVELOPED IN 1984

Based on observations and discussions during field trips, notes from correlators and correspondence from pedologists in several regions, we proposed changes in criteria of Gleysolic soils for testing in all regions. The proposals, the results of testing them in several regions and the changes agreed upon at the meeting of the Expert Committee on Soil Survey (ECSS) in Guelph, Nov. 1984 are given in detail in the proceedings (Shields and Kroetsch eds. 1985). The major changes and some related concepts are summarized here.

Concepts Involved

1. Criteria for the Gleysolic order or any other class at the order level, should be compatible with the concept of the order. In the Canadian system (CSSC, 1978), "Taxa at the order level are based on properties of the pedon that reflect the nature of the soil environment and the effects of the dominant soil forming process". In the case of Gleysolic soils, the nature of the soil environment throughout much of the period of genesis is saturated with water and under reducing conditions for appreciable periods most years. The dominant soil forming process is gleysation due to reduction or intermittent reduction and oxidation within 50 cm of the surface, and the properties known to reflect this are gley colors with or without mottles.

Gleysolic soils are those in which the imprint of reduction or reduction-oxidation cycles is dominant over evidence of persistent oxidizing conditions. Many Gleysolic soils are poorly or very poorly drained, some are imperfectly drained, and others, in which drainage has been markedly improved, are now well drained. Criteria for Gleysolic soil classification must be based on soil properties that indicate reduction during the genesis of the soil, not on the current soil water regime. A major step toward improved classification of Gleysolic soils would be acceptance of the concept that there is not a 100% correlation between drainage class or current soil water

regime and soil taxonomy.

Consider the clayey soils on level terrain in parts of the St. Lawrence Lowlands of southern Ontario and Quebec. Large areas of such soils were undoubtedly subject to reducing conditions in their natural state and many still display the evidence of such conditions - low chromas accompanied by prominent mottles near the surface. Some of these soils were drained and cultivated more than a century ago, others more recently. Suppose that an effectively drained field of such a soil has not been saturated to the surface for more than a few hours in the last 50 years and that reducing conditions have not occurred in the upper meter during that time. The soil might be designated as imperfectly drained, perhaps even moderately well drained. Prominent mottles persist, however, immediately below the Ap horizon. Matrix chromas are 2 in the upper B and perhaps 1 to 2 in a depth of 1 m.

Considering the fact that our system is based upon properties that reflect genesis, is it not preferable to classify such soils as Gleysolic (perhaps Humic Gleysols) that are imperfectly or well drained (or preferably give the appropriate SWIG classes) than to insist that the drainage class and the taxonomy are "compatible" and classify them as gleyed subgroups of other orders, perhaps Gleyed Melanic Brunisol? Many soils of the St. Lawrence Lowlands were probably periodically flooded and reduced for thousands of years and they still bear the marks of their genetic history. In time, if the drains continue to function, such soils may lose their gley features and be appropriately classified in another order. In the meantime, much information about the soil is implied in the designation, Humic Gleysol, imperfectly drained.

2. In cases where two or more apparently "dominant soil forming processes" have left their mark on the soil, it is essential to decide an order of precedence. The decision on this is reflected in the present "Key to soil orders" (Canada Soil Survey Committee, 1978). No change is proposed in the order implied previously. Hence, processes reflected by permafrost close to the surface, by the accumulation of organic material of specified thickness, and by podzolic processes giving rise to soils that meet the specifications of the Podzolic order take precedence over evidence of gleysolic processes. Specified evidence of gleysolic processes, on the other hand, take precedence over processes leading to the development of a solonetzic B, chernozemic A, Bt, Bm, or to weak evidence of soil genesis as in Regosolic soils.

3. Classification criteria are based on observable or measurable soil properties, not on vegetation, slope position or other non-soil properties that are commonly related to soil properties (CSSC, 1978). Relationships between these associated properties and degree of expression of gley features facilitate mapping. They differ from region to region and in different soil materials. Elucidation of relationships between observable non-soil properties and key soil properties in an area is work of major importance. Pedons must be classified, however, on the basis of their properties rather than on the basis of inferred properties or genesis deduced from observation of such features as position in the landscape and vegetation.

4. Criteria for the Gleysolic order, or other order, should make sense from both practical and genetic points of view for soils of different horizon sequences, different parent materials, different climatic regions, etc. If they do not make sense in the collective view of Canadian pedologists, improved criteria should be sought, tested and put in place if suitable. Until such criteria are developed, pedons are classified according to the currently-accepted criteria, not on the basis of landscape features, vegetation, gut feelings, or local biases. If the criteria result in apparently illogical classification of pedons, the facts are recorded and used in developing improved limits or improved criteria for testing.

Accepted Proposals for Change

These proposals including ideas of pedologists from several provinces are aimed at fine-tuning of the present system. We did not develop new bases for criteria to separate Gleysolic soils from gleyed subgroups. In spite of the problems associated with its use, color is the best known simple indicator of long-term reduction-oxidation status of soil. Measurement of redox potential and use of dyes that react with Fe^{+2} (Childs, 1981) are useful for some purposes but they do not indicate prevailing oxidation-reduction status during soil genesis.

1. The Gleyed Gray Luvisol - Luvic Gleysol split.

Currently, a soil having a Bt horizon, and low chromas accompanied by prominent mottling (see p. 69, CSSC, 1978 for details of colors) within 50 cm of the surface is a Luvic Gleysol. But some soils with unmottled, brown (chromas of 3 or 4) Bt horizons have Aeg horizons with chromas of 1 and prominent reddish brown mottles. By the book, these soils are Luvic Gleysols but they probably should be Gleyed Gray Luvisols (oxidiation dominant). The change required results in criteria for Luvic Gleysols similar to those for Aqualfs (Soil Survey Staff, 1975). Details of the changes are spelled out for testing later in this report.

2. Details of color criteria

As pointed out previously, the Canadian system (CSSC, 1978) is ambiguous on the color criteria for Gleysolic soils. The change required is to specify either very low chromas or relatively low chromas, depending on hue, accompanied by prominent mottling within 50 cm of the mineral surface. The specific color criteria except for soils developed in red materials are:

chromas of 1 or less without mottles or hues bluer than 10Y, or chromas of 2 or less in hues of 10YR or redder and prominent mottles, or chromas of 3 or less in hues yellower than 10YR and prominent mottles. The prominent mottles to be diagnostic must occupy at least 2% of a horzon at least 10 cm thick with its upper boundary within 50 cm of the mineral surface.

3. Color criteria for soils developed in red materials

Soils developed in some red materials (5YR or redder and color does not

fade rapidly on dithionite treatment) may not have subsoils of low chromas even if they are subjected to prolonged reducing conditions. In such soils, the following moist color criteria within 50 cm of the surface are diagnostic of Gleysolic soils:

a. Common or many, distinct or prominent mottles of high chroma in a horizon at least 10 cm thick with its upper boundary within 50 cm of the surface.

b. Common or many, prominent mottles of low chroma in a horizon within 50 cm of the surface.

Gray streaks associated with ochreous material along fissures in fragipans are not diagnostic of Gleysolic soils.

4. Add Solonetzic subgroups to the Gleysolic order

These would be parallel to the Luvisolic subgroups of Ferro-Humic and Humo-Ferric Podzols. They would identify soils that meet the criteria of Solonetzic soils except that they also meet the limits for Gleysolic soils. A decision would have to be made on the order of precedence of subgroups. Tentatively, we suggest that Solonetzic would take precedence over Rego, Fera and Luvic. Thus a Gleysolic soil having a Bng or Bntg horizon would be a Solonetzic subgroup of the appropriate great group.

5. Chromas of Ae and Ah horizons

Chromas of 1 occur in Ae and Ah horizons of some oxidized pedons classified as Chernozemic, Luvisolic, Podzolic, Solonetzic, etc. Strict application of the present criteria would result in misclassifying these pedons as Gleysolic. It is proposed that chromas of Ah and Ae horizons should not be diagnostic of Gleysolic soils. In the case of exceptionally thick Ah or Ae horizons, some adjustment might be required.

6. Low chroma mottles

Mottles with chromas of 2 or less are diagnostic of some Aquic subgroups in Soil Taxonomy. We have not paid much attention to mottles of low chromas except for reddish soils. It is proposed that common or many distinct or prominent mottles of low chromas in horizons of generally oxidized color within 1 m of the surface should be diagnostic of gleyed subgroups. An exception is made for reddish soils in which prominent low-chroma mottles at specified depths are diagnostic of Gleysolic soils.

7. Coastal Gleysolic Soils

Some Gleysolic soils in coastal sediments have black (N2/) horizons that turn gray (5Y 6/1) on oxidation. The need of a new class for these soils was mentioned. It is proposed that this feature should be recognized at the series level.

Other Proposals

Some of the proposals for changes in Gleysolic order criteria were either rejected or designated for further study. These are listed:

1. Soils with chernozemic A horizons and horizons of secondary carbonate enrichment, ca, within 50 cm of the mineral surface.

   Chromas of such ca horizons are commonly 1; thus, they meet the color criteria of Gleysolic soils unless an exception is made. The proposal to classify such soils as Humic Gleysols, consistent with some Aquolls in Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), was set aside for further study especially in Manitoba.

2. The Humic Gleysol-Gleysol split

   Currently, the Ah of Ap horizon of a Humic Gleysol must: contain more than 2% organic C, have a rubbed color value of 3.5 or less (moist) or 5 or less (dry) and have a lower color value than the underlying horizon. This has caused problems. Some Ap horizons containing much more than 2% organic C have color values (moist) of more than 3.5. Also, some Ah or Ap horizons no darker than the underlying material contain substantially more than 2% organic C. The solution proposed is to restrict the diagnostic criterion for a Humic Gleysol to: Humic Gleysols have no Bt horizon; they have either an Ah horizon at least 10 cm thick or an Ap horizon at least 15 cm thick with more than 2% organic carbon. (The same A horizon criteria would apply to Humic Luvic Gleysols). Color and other morphological properties would be used to aid pedologists in making field estimates of organic C. The problem was recognized but agreement was not reached.

REVISED GLEYSOLIC ORDER CHAPTER

The statement of concepts and the minor changes in criteria outlined in the previous section of this report necessitate a redrafting of the Gleysolic order chapter of the Canadian system (CSSC, 1978). This section is a first draft of that revised chapter. It should be criticized in detail both for clarity and content and tested in classifying soils of all regions of Canada before further revision and eventually inclusion in a revised publication of the Canadian system. The draft that follows is intended to be complete except that photographs and diagrammatic sketches of Gleysolic soil profiles are not included.

GLEYSOLIC ORDER

Great Group	Subgroup
Luvic Gleysol	Solonetzic Luvic Gleysol SZ.LG
	Fragic Luvic Gleysol FR.LG
	Humic Luvic Gleysol HU.LG
	Fera Luvic Gleysol FE.LG
	Orthic Luvic Gleysol O.LG
Humic Gleysol	Solonetzic Humic Gleysol SZ.HG
	Fera Humic Gleysol FE.HG
	Orthic Humic Gleysol O.HG
	Rego Humic Gleysol R.HG
Gleysol	Solonetzic Gleysol SZ.G
	Fera Gleysol FE.G
	Orthic Gleysol O.G
	Rego Gleysol R.G

Note: The great groups and subgroups are arranged in the order in which they are keyed out. For example, if a Gleysolic soil has a Btg horizon, it is a Luvic Gleysol whether or not it has any of the following: Ah, Bn, Bgf, fragipan. The Luvic Gleysol is the first great group keyed out. Similarly at the subgroup level, if a Luvic Gleysol has a solonetzic B horizon, it is a Solonetzic Luvic Gleysol whether or not it has any of the following: fragipan, Ah, Bgf. In essence, any class at the great group or subgroup level as listed does not have the diagnostic properties of classes listed above it. For example, a Rego Gleysol does not have any of the following: a B horizon as defined for Orthic Gleysol, a Bgf horizon, a solonetzic B horizon.

Gleysolic soils are defined on the basis of colors and mottling considered to be indicative of the influence of periodic or sustained reducing conditions during their genesis. The criteria that follow apply to all horizons except Ah or Ap horizons and Ae horizons. If the Ae horizon is thicker than 20 cm and its lower boundary is more than 60 cm below the mineral soil surface, however, the criteria do apply to the Ae. Also if the Ah or Ap horizon is

thicker than 50 cm, the color criteria apply to the mineral horizon immediately below. Apart from these exceptions the criteria are as follows: Gleysolic soils have within 50 cm of the mineral surface the upper boundary of a horizon or subhorizon at least 10 cm thick that has moist colors as follows:

1. For all but red soil material (hue of 5YR or redder and color fades slowly on dithionite treatment).
   a. Dominant chromas of 1 or less or hues bluer than 10Y with or without mottles, or
   b. Dominant chromas of 2 or less in hues of 10YR and 7.5 YR accompanied by prominent mottles 1 mm or larger in cross section and occupying at least 2% of the exposed, unsmeared 10 cm layer, or
   c. Dominant chromas of 3 or less in hues yellower than 10 YR accompanied by prominent mottles 1 mm or larger in cross section and occupying at least 2% of the exposed, unsmeared 10 cm layer.

2. For red soil materials (hues of 5YR or redder and color fades slowly on dithionite treatment).
   a. Distinct or prominent mottles of high chroma at least 1 mm in diameter occupy at least 2% of the exposed unsmeared 10 cm layer, or
   b. Distinct or prominent mottles of low chroma at least 1 mm in diameter occupy at least 2% of the exposed unsmeared 10 cm layer.

Soils of the Gleysolic order have properties that indicate prolonged periods of intermittent or continuous saturation with water and reducing conditions during their genesis. Saturation with water may be due either to a high groundwater table, or to temporary accumulation of water above a relatively impermeable layer, or to both of these. Soils may be saturated periodically with aerated water or for prolonged cold periods that restrict biological acitvity without developing properties associated with reducing conditions. Such soils are not classified as Gleysolic.

Gleysolic soils are associated with a number of different water regimes which may change during the genesis of the soil. Commonly they have peraquic or aquic regimes but some have aqueous regimes and others are now rarely, if ever, saturated with water. The latter soils presumably had aquic regimes and were under reducing conditions in the past but drainage, isostatic uplift or other factors have resulted in changed water regimes.

Gleysolic soils occur in association with other soils in the landscape, in some cases as the dominant soils, in others as a minor component. In areas of subhumid climate Gleysolic soils occur commonly in shallow depressions and on level lowlands that are saturated with water every spring. In more humid areas they may occur also on slopes and on undulating terrain. Commonly, the native vegetation associated with Gleysolic soils differs from that of associated soils of other orders.

Some notes on the rationale behind the color criteria follow. The criteria are based upon color because color is the most easily observable and most useful indicator known of the oxidation-reduction status of a soil during its genesis. Color in itself is not considered to be important but it

indicates much about the prevailing processes involved in soil development in many materials. Redox potentials measured at several depths within pedons throughout the period when the soil is not frozen provide useful information on current redox conditions. Values of Ept of 100 mv or less are associated with reduced forms of Mn and Fe. Such values, however, indicate only present redox conditions not those that existed over long periods during which the soil developed. Similarly monitoring of water regime properties such as depth to water table provides valuable information on the present state of the soil, but it does not necessarily indicate the prevailing water regime during soil genesis.

Different color criteria are used for red soil materials than for others because it has been found that even prolonged saturation and, presumably, reducing conditions have not resulted in the development of drab gray colors in such materials. Usually, however, such soils are mottled in horizons near the surface. In some cases there are gray mottles in a reddish matrix, in others there are strong brown or yellowish red mottles in a matrix of lower chroma. The dominant color is considered to be the matrix color.

Exceptions had to be made in applying the criteria to soils with Ah, Ap or Ae horizons because chromas of 1 occur in some such horizons of oxidized soils. Furthermore, prominent mottling may occur in Ae horizons overlying relatively impermeable horizons of generally oxidized soils. In the case of thick Ae horizons, however, prominent mottling of the upper part of the horizon is thought to indicate periodic reducing conditions near the surface. These exceptions have not been tested and they will probably require adjustment.

The color criteria specify a minimum size and abundance of mottles in a subhorizon 10 cm thick or more because it seems unreasonable to base classification at the order level on the occurrence of minute or rare mottles in a thin layer. Care is required in estimating the abundance of mottles; smearing of ochreous material on the profile can result in overestimates and failure to look for both inped and exped mottles can result in underestimates. Use of mottle charts facilitates estimates of abundance. The minimum limits specified are an arbitrary cut through the continuum of degree of gley phenomena that exists in soils. Further information on soil properties in different regions will probably necessitate additional fine tuning.

In a particular region with a given soil material it will probably be possible to relate some combination of position in the landscape, vegetation, peaty surface or other easily observable features to the occurrence of the properties defined as diagnostic of Gleysolic soils. Such relationships will differ, however, from region to region. As stated by Ellis (1932) many years ago, in the final analysis, soil classification must be based on properties of the soil itself.

Distinguishing Gleysolic Soils from Soils of Other Orders

Guidelines for the distinction of Gleysolic soils from soils of other orders with which they might be confused are listed below.

Chernozemic. Some soils have a chernozemic A horizon and dull colors or mottling indicative of gleying within the control section. Those meeting the requirements specified for Gleysolic soils are classified in the Gleysolic order. Those having gley features within 50 cm that fail to meet the criteria of the Gleysolic order, or that have colors of low chromas, mottles, or both below a depth of 50 cm are classified as Gleyed subgroups of the appropriate great groups of Chernozemic soils.

Solonetzic. The soils with both a Bn or Bnt horizon and evidence of gleying as specified for Gleysolic soils are classified as Solonetzic subgroups of the appropriate great groups of the Gleysolic order.

Luvisolic. Some soils have eluvial horizons, Bt horizons and colors indicative of gleying within 50 cm of the mineral surface. Such soils are classified as Luvic Gleysols if gley colors as specified for the Gleysolic order occur in the Btg horizon within 50 cm of the mineral soil surface. If such gley colors occur either only in the Aeg horizon, with the exception for thick Ae horizons as specified, or only below a depth of 50 cm, the soil is classified as a Gleyed subgroup of the appropriate great group in the Luvisolic order.

Podzolic. Soils having both a podzolic B horizon and evidence of gleying that satisfies the specifications of Gleysolic soils are classified as Podzolic.

Brunisolic. Gleyed subgroups of Brunisolic soils are differentiated from Gleysolic soils on the basis of evidence of gleying too weakly expressed to meet the specifications of Gleysolic soils.

Regosolic. Soils with no horizon differentiation apart from evidence of gleying as specified for Gleysolic soils are classified as Gleysolic.

Organic. Gleysolic soils may have organic surface layers, but they are too thin to meet the minimum limits specified for soils of the Organic order.

Cryosolic. Some Cryosolic soils have matrix colors of low chroma and prominent mottling within 50 cm of the surface like Gleysolic soils. However, Gleysolic soils do not have permafrost within 1 m of the surface or 2 m if the soil is strongly cryoturbated.

Gleysolic soils are divided into three great groups: Luvic Gleysol, Humic Gleysol, and Gleysol, which are separated on the basis of the development of the Ah horizon and the presence or absence of a Bt horizon as shown.

Gleysolic Order

Luvic Gleysol	Humic Gleysol	Gleysol
A Btg horizon Usually an Ahe or an Aeg horizon	Ah, at least 10 cm thick No Bt horizon	No Ah or an Ah 10 cm thick No Bt horizon

LUVIC GLEYSOL

Soils of this great group have the general properties specified for the Gleysolic order and a horizon of clay accumulation. They are similar to Luvisolic soils except that they have dull colors or prominent mottling or both, which are indicative of strong gleying. They may have organic surface horizons and an Ah horizon. Luvic Gleysols occur commonly in poorly drained sites in association with Luvisolic soils and in depressions in areas of Black and Dark Gray Chernozemic soils.

Luvic Gleysols usually have an eluvial horizon (Ahe, Aeg) and a Btg horizon. A Btg horizon is defined on the basis of an increase in silicate clay over that in the A horizon, the presence of clay skins indicating illuvial clay, and colors and mottling as specified for the Gleysolic order indicative of permanent or periodic reduction. Luvic Gleysols may have an organic surface horizon and an Ah horizon. In some cases the A horizon is very dark colored (value of 2) when moist but its eluvial features usually are evident on drying. Such horizons usually have darker and lighter gray streaks and splotches similar to Ahe horizons of Dark Gray Chernozemic soils. Even if the eluvial horizon is dark in color, the Btg horizon is diagnostic of a Luvic Gleysol.

The great group is divided into five subgroups based on the kind and sequence of the horizons.

SOLONETZIC LUVIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH, or O, Ah, Aeg, Bntg, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Luvic Gleysol great group. They have, in addition, a solonetzic B horizon. They may have Ah or Ap horizons as specified for Humic Luvic Gleysols. These soils are commonly associated with saline parent materials.

FRAGIC LUVIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Ah, Aeg, Btgx, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Luvic Gleysol great group. They have, in addition, a fragipan within or below the Btg horizon. They may also have a dark-colored Ah or Ap horizon as specified for Humic Luvic Gleysols, Bgf or Btgf horizon as specified for Fera Luvic Gleysols. They do not have a solonetzic B horizon; such horizons are not known to occur in association with a fragipan.

HUMIC LUVIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Ah, Aeg, Btg, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Luvic Gleysol great group. They have, in addition, a mineral-organic surface horizon that meets the requirements of the Ah or Ap horizon of Humic Gleysols. Thus, the Ah horizon must be at least 10 cm thick and the Ap horizon must be at least 15 cm thick, contain at least 2% organic C and be darker than the underlying horizon. Humic Luvic Gleysols do not have either a solonetzic B or a fragipan, but they may have a Bgf horizon.

FERA LUVIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Ah, Aeg, Bgf, Btg, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Luvic Gleysol great group. They have, in addition, either a Bgf horizon at least 10 cm thick in addition to a Btg horizon, or a Btgf horizon. A Bgf or Btgf horizon contains an accumulation of hydrous iron oxide (dithionite exractable), which is thought to have been deposited as a result of the oxidation of ferrous iron. It usually has a high chroma and is commonly a horizon of concentration of rusty mottles. Fera Luvic Gleysols lack all of the following: an Ah or Ap horizon diagnostic of Humic Luvic Gleysols, a solonetzic B, and a fragipan.

ORTHIC LUVIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Aeg, Btg, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Luvic Gleysol great group. Typically they have organic or mineral-organic surface horizons overlying gleyed, eluvial horizons, and a Btg horizon.

Orthic Luvic Gleysols are identified by the following properties:

1. They have an eluvial horizon: Ahe, Ae, Aeg.
2. They have a Btg horizon.
3. They do not have an Ah or Ap horizon as defined for Humic Gleysols and Humic Luvic Gleysols.
4. They lack a solonetzic B horizon, a fragipan and a Bgf horizon at least 10 cm thick.

HUMIC GLEYSOL

Soils of this great group have a dark-colored A horizon in addition to the general properties of soils of the Gleysolic order. They occur commonly in poorly drained positions in association with some Chernozemic, Luvisolic, Podzolic, and Brunisolic soils. They may have organic surface horizons derived from grass and sedge, moss, or forest vegetation.

Humic Gleysols have no Bt horizon, and they have either an Ah horizon at least 10 cm thick or a mixed surface horizon (Ap) at least 15 cm thick with all of the following properties:

1. More than 2% organic C.

2. A rubbed color value of 3.5 or less (moist), or 5.0 or less (dry).

3. At least 1.5 units of color value (moist) lower than that of the next underlying horizon if the color value (moist) of that horizon is 4 or more, or 1 unit of color value lower than that of the underlying horizon if its color value is less than 4.

Examples of color values of cultivated Humic Gleysols are:

	Example 1	Example 2
Moist color value of Ap	3.5 or less	2.0 or less
Moist color value of underlying horizon	5.0 or more	3.0 or more

The great group is divided into four subgroups based on the kind and sequence of the horizons. The former subgroup features turbic, placic, saline, carbonated, cryic, and lithic are now recognized taxonomically at either the family or series level. They may be indicated also as phases of subgroups, great groups, or orders.

SOLONETZIC HUMIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **Ah**, **Bnsg**, Cgsk

These soils have the properties specified for the Gleysolic order and the Humic Gleysol great group. They have, in addition, a solonetzic B horizon and they may have a Bgf horizon. Typically they have saline parent materials.

FERA HUMIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Ah, Aeg, Bgf, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Humic Gleysol great group. They have, in addition, a Bgf horizon at least 10 cm thick and they lack a solonetzic B horizon. The Bgf horizon contains an accumulation of hydrous iron oxide (dithionite extractable) thought to have been deposited as a result of the oxidation ferrous iron. Usually the Bgf horizon has many prominent mottles of high chromas.

ORTHIC HUMIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH OR O, Ah, Bg, Cg or C**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Humic Gleysol great group. Typically they have a well-developed Ah horizon overlying gleyed B and C horizons. They may have organic surface horizons, an eluvial horizon, and a C horizon that does not have dull colors and mottling indicative of gleying.

Orthic Humic Gleysols are identified by the following properties:

1. They have an Ah horizon at least 10 cm thick as defined for the great group.

2. They have a B horizon, Bg or Bgtj at least 10 cm thick.

3. They do not have any of the following: a Btg horizon, a solonetzic B horizon or a Bgf horizon at least 10 cm thick.

REGO HUMIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Ah, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Humic Gleysol great group. They differ from the Orthic Humic Gleysols by lacking a B horizon at least 10 cm thick. Typically they have a well-developed Ah horizon overlying a gleyed C horizon.

GLEYSOL

Soils of this great group have the general properties specified for soils of the Gleysolic order and they lack a well-developed, mineral-organic surface horizon. They occur commonly in poorly drained positions in association with soils of several other orders.

Gleysols lack an Ah or Ap horizon as specified for Humic Gleysols and a Bt horizon. They may have either an Ah horizon thinner than 10 cm or an Ap horizon with one of the following properties:

1. Less than 2% organic C.

2. A rubbed color value greater than 3.5 (moist) or greater than 5.0 (dry).

3. Little contrast in color value with the underlying layer (less than 1.5 units difference if the value of the underlying layer is 4 or more, or less than 1 unit difference if that value is less than 4).

They have a gleyed B or C horizon and they may have an organic surface horizon.

The great group is divided into four subgroups based on the kind and sequence of the horizons.

SOLONETZIC GLEYSOL

Common Horizon Sequence **Bnsg, Cgsk**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Gleysol great group. They have, in addition, a solonetzic B horizon, and they may have a Bgf horizon. Typically they have saline parent material.

FERA GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Aeg, Bgf, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Gleysol great group. They have, in addition, a Bgf horizon at least 10 cm thick and they lack a solonetzic B horizon. The Bgf horizon contains an accumulation of hydrous iron oxide (dithionite extractable), which is thought to have been deposited as a result of the oxidation of ferrous iron. Usually the Bgf horizon has many prominent mottles of high chroma.

ORTHIC GLEYSOL

Common horizon sequence: **LFH or O, Bg, Cg**

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Gleysol great group. Typically they have strongly gleyed B and C horizons, and they may have organic surface horizons and an eluvial horizon.

Orthic Gleysols are identified by the following properties:

1. They have a B horizon, Bg or Btjg at least 10 cm thick.

2. They may have an Ah or Ap horizon as specified for the Gleysol great group.

3. They do not have a Btg horizon, a solonetzic B horizon, or a Bgf horizon at least 10 cm thick.

REGO GLEYSOL

Common horizon sequence: LFH or O, Cg

These soils have the general properties specified for the Gleysolic order and the Gleysol great group. They differ from the Orthic Gleysols by lacking a B horizon at least 10 cm thick. Thus they consist of a gleyed C horizon with or without organic surface horizons and thin Ah or B horizon.

CONCLUSIONS

1. The report shows that the persistent problems associated with the classification of Gleysolic soils in Canada are due not only to the fact that soils in the landscape have a continuum of properties reflecting the prevailing oxidation-reduction conditions during their genesis, but also to differences among pedologists in concepts of soil classification. These concepts have evolved during the last half century but their development through the years and their consequences on the day by day use of soil taxonomy have not been documented (Michalyna and Rust, 1984a, b). An example of this is the concept held by some pedologists that Gleysolic soils must be poorly or very poorly drained. In fact, soils that developed for thousands of years under periodic or permanent high water tables and intermittent or prolonged reducing conditions may now not be saturated within the control section. These formerly poorly or very poorly drained soils may now be well or imperfectly drained but they may retain the gley features diagnostic of Gleysolic soils for years. Classifying such soils as Gleysolic and indicating their present water regime conveys more information than classifying them in another order so as to maintain consistency between present water regime and taxonomy. If the current water regime persists due to maintenance of drains or other factors, the soil will ultimately lose its pronounced gley properties and be appropriately classified in another order.

   Similarly, soils developed for thousands of years under well drained, oxidizing conditions may become saturated with water for prolonged periods due to damming of rivers or other causes. Such soils might be classified appropriately as Orthic Melanic Brunisols with aquic water regimes. In time, under such conditions, they would develop the features of Gleysolic soils and their classification would change accordingly.

   Another conceptual problem is inherited to a degree from the change from a field classification system (Stobbe, 1945), essentially a system of classifying map units, to a taxonomic system in which the taxa are conceptual and based on abstractions of properties of pedons (Stobbe, 1955; CSSC, 1978). Some pedologists still classify soils on the basis of their reading of the landscape, including slope position and vegetaion, rather than on the basis of properties of pedons. Ellis (1932) was well ahead of his time when he stated clearly more than half a century ago the need to classify soils on the basis of their properties.

2. Though color is not a soil property of major significance in itself, it remains the best known basis of criteria for differentiating Gleysolic soils. Other bases such as redox potentials, chemical properties and micromorphological features have been tried and research for a better basis should continue. Further fine tuning of color criteria in relation to thoroughly documented properties of different soil materials under different environmental conditions is necessary.

3. Further work is required to resolve problems that were set aside at the 1984 ECSS meeting (Tarnocai 1985). The most pressing of these are the classification of soils with chernozemic A underlain by gray, calcareous Aca or Cca horizons, and the limit between Humic Gleysols and Gleysols.

Proposals for the resolution of these problems were made (McKeague and Wang, 1985); it is now the responsibility of pedologists in areas where the problems are relevant to develop more suitable solutions and to test them.

4. Continuing assessment of Gleysolic order criteria will be necessary in the light of new information on soils from soil surveys, new information on soil properties in relation to soil climate and international developments in soil taxonomy. Relative to other soil problems, however, those involving aspects of Gleysolic soil classification are minor. The current requirement is to apply the system and to record thoroughly cases in which this results in apparently inappropriate classification of the soil.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank the many pedologists from different regions of Canada who made us aware of inconsistencies in the present soil classification system (CSSC, 1978) and of problems in applying the criteria of Gleysolic soils to pedons in many areas, and who contributed through discussions and written material to the development of the points of view expreessed in this report. We thank, also, the staffs of the soil laboratories in Kelowna and in the LRRI, Ottawa for analyzing some of the soils discussed, and R.K. Guertin for preparing thin sections.

REFERENCES

Anderson, J.L. 1984. Soil mottling, an indicator of saturation. Soil Survey Horizons. 25(4):13-14.

Atkinson, H.J. 1971. A bibliography of Canadian soil science. Publ. 1452. Canada Department of Agriculture, Ottawa.

Avery, B.W. 1980. Soil classification for England and Wales. Soil Survey Technical Monograph No. 14. Harpenden.

Bloomfield, C. 1949. Gleying. Soils and Fertilizers. 12:1-3.

Bloomfield, C. 1951. Experiments on the mechanism of gley formation. J. Soil Sci. 2:196-210.

Bouma, J. 1983. Hydrology and soil genesis of soils with aquic moisture regimes. pp. 253-281 in Wilding, Smeck and Hall, eds. Pedogenesis and Soil Taxonomy. Vol. 1 Elsevier.

Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. Krieger.

Brinkman, R. 1970. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. Geoderma 3:199-206.

Canada Department of Agriculture. 1970. The system of soil classification for Canada. Queen's Printer, Ottawa.

Canada Soil Survey Committee. 1978. The Canadian system of soil classification. Can. Dep. Agric. Publ. 1646. Supply and Services Canada.

Childs, C.W. 1981. Field tests for ferrous iron and ferric-organic complexes on exchange sites or in water-soluble forms in soils. Aust. J. Soil Res. 19:175-180.

Crown, P.H. and Hoffman, D.W. 1970. Relationship between water table levels and type of mottles in four Ontario Gleysols. Can. J. Soil Sci. 50: 453-455.

Day, J.H. ed. 1979. Minutes, first annual meeting Expert Committee on Soil survey. Ottawa.

Ibid. 1980. Second meeting.

Ibid. 1981. Third meeting.

Day, J.H. (ed.) 1983. Manual for describing soils in the field. Agriculture Canada, Ottawa.

DeKimpe, C.R., McKeague, J.A. and Topp, G.C. 1974. Soil properties in relation to water regime at a site near Quebec city. Can. J. Soil Sci. 54: 427-446.

Duchaufour, P. 1982. Pedology. Transl. from French by T.R. Paton George Allen and Unwin.

Ehrlich, W.A. 1958. Report on classification of Gleysolic soils. pp. 33-36 in Report Western Section, NSSC, Edmonton.

Ehrlich, W.A. 1960. Report on the classification of Gleysolic soils. pp. 30-33 in Report NSSC, Guelph.

Ehrlich, W.A. 1963. Report on the classification of Gleysolic soils. pp. 49-53 in Report 5th Meeting NSSC, Winnipeg.

Ehrlich, W.A. 1965. Report on the classification of Gleysolic soils. pp. 60-64 in Proc. 6th Meeting, N.S.S.C., Quebec.

Eilers, R.G. 1973. Relations between hydrogeology and soil characteristics near Deloraine, Manitoba. M.Sc. Thesis, Univ. of Manitoba. 202 pp.

Ellis, J.H. 1932. A field classification of soils for use in soil survey. Sci. Agr. 12: 338-345.

FAO - UNESCO. 1974. Soil map of the world. Vol. 1, Legend, Unesco, Paris.

Franzmeier, D.P., Jahner, J.E., Steinhardt, G.C., Sinclair, H.R. Jr. 1983. Color patterns and water table levels in some Indiana soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:1196-1202.

Ignatieff, V. 1939. Method of determining ferrous iron in soil solutions and a study of the effect of light on the reduction of iron by citrate and 2:2' dipyridyl. J. Soc. Chem. Ind. Trans. 56:407-410.

Igntieff, V. 1941. Ferrous iron in soils. Soil Sci. 54:249-263.

Joffe, J.S. 1936. Pedology. Rutgers University Press.

Mackintosh, E.E. 1973. Report of the subcommittee on soil water regime. pp. 136-153 in Proc. 9th Meeting CSSC, Saskatoon.

Mackintosh, E.E. 1976. Report of the Subcommittee 4; Soil water regimes. pp. 27-37 in Selected Proc. 11th Meeting CSSC, Guelph, K.W.G. Valentine, ed.

Mackintosh, E.E. and Van der Hulst, J. 1978. Soil drainage classes and soil water table relations in medium and coarse textured soils of southern Ontario. Can. J. Soil Sci. 58:287-301.

Macyk, T.M., Pawluk, S. and Lindsay, J.D. 1978. Relief and microclimate as related to soil properties. Can. J. Soil Sci. 58: 421-438.

Matthews, B.C. 1963. Report on soil moisture. pp. 64-65 in Report 5th Meeting NSSC, Winnipeg.

McKeague, J.A. 1958. A study of some Alberta soils under different drainage conditions. M.Sc. Thesis. Univ. of Alberta, 106 pp.

McKeague, J.A. 1965a. Relationship of water table and Eh to properties of three clay soils in the Ottawa Valley. Can. J. Soil Sci. 45: 49-62.

McKeague, J.A. 1965b. Properties and genesis of three members of the Uplands catena. Can. J. Soil Sci. 45: 63-77.

McKeague, J.A. 1965c. A laboratory study of gleying. Can. J. Soil Sci. 45: 199-206.

McKeague, J.A. 1968. Report of the subcommittee on the classification of Gleysolic soils. pp. 71-76 in Proc. 7th Meeting NSSC, Edmonton.

McKeague, J.A. 1970. Report on Gleysolic soils. pp. 129-131 in Proc. 8th Meeting CSSC, Ottawa.

McKeague, J.A. 1970. Report of the subcommittee on soil moisture regimes. pp. 9-20 in Proc. 8th Meeting CSSC, Ottawa.

McKeague, J.A. and Bentley, C.F. 1960. The effect of drainage conditions on the redox potential, leachate composition and morphological characteristics of a soil parent material studied in the laboratory. Can. J. Soil Sci. 40: 121-129.

McKeague, J.A., Luttmerding, H.A. and Tarnocai, C. 1985. Gleysolic order criteria applied to five pedons from British Columbia. Can. J. Soil Sci. (in press).

McKeague, J.A., Nowland, J.L., Brydon, J.E. and Miles, N.M. 1971. Characterization and classification of five soils from eastern Canada having prominently mottled B horizons. Can. J. Soil Sci. 51: 483-497.

McKeague, J.A. and Wang, C. 1985. Proposal of improved criteria for Gleysolic soils. pp. in J.A. Shields and D.J. Kroetsch, eds. Proc. 6th Meet. Expert Committee on Soil Survey.

Michalyna, W. 1971. Distribution of various forms of aluminun, iron, and manganese in the Orthic Gray Wooded, Gleyed Orthic Gray Wooded and related Gleysolic soils in Manitoba. Can. J. Soil Sci. 51: 23-36.

Michalyna, W. 1974. Influence of drainage regime on the chemistry and morphology of Chernozemic soils in Manitoba. Ph.D. Thesis. Univ. of Minn. 209 pp.

Michalyna, W. and Rust, R.H. 1984a. Influence of drainage regime on the chemistry and morphology of some Maniltoba soils: Sandy Chernozemic and Gleysolic soils of the lower Assiniboine Delta. Can. J. Soil Sci. 64:587-604.

Ibid. 1984b. Clayey Chernozemic and Gleysolic soils of the Red River Plain. Can. J. Soil Sci. 64:605-620.

Miller, J.J. 1983. Hydrology of a morainic landscape near St. Denis, Saskatchewan, in relation to the genesis, classification and distribution of soils. M.Sc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon.

Mückenhausen, E. 1963. Le pseudogley. Sci. du Sol. 1:1-8.

Mückenhausen, E. 1965. The soil classification system of the Federal Republic of Germany. Pédologie. Intern. Symp. 3, Soil Classification, Ghent. p.57-74.

Murphy, C.P. 1984. The morphology and genesis of eight surface-water gley soils developed in till in England and Wales. J. Soil Sci. 35:251-272.

Murphy, C.P. and Bullock, P.,eds. 1981. International working-meeting on soil micromorphology. Programme and guide for post-meeting excursion through England and Wales. Rothamsted Experimental Station.

Nowland, J.L. 1981. Soil water regime classification. 1981. pp. 64-74 in Proc. 3rd Meeting ECSS, J.H. Day, ed., Ottawa.

Pickering, E.W. and Veneman, P.L.M. 1984. Moisture regimes and morphological characteristics in a hydrosequence in central Massachusetts. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:113-118.

Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24:29-96.

Richardson, J.L. and Hole, F.D. 1979. Mottling and iron distribution in a Glossoboralf-Haplaquoll hydrosequence on a glacial moraine in northwestern Wisconsin. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:552-558.

Ruhnke, G.N. 1926. The soil survey of southern Ontario. Sci. Agric. 7:117-124.

Schlichting, E. and Schwertmann, U. 1973. Pseudogley and gley. Verlag Chemie.

Shields, J.A. and Kroetsch, D.J. 1985. Proc. 6th Annual meeting, Expert Committee on Soil Survey, Guelph. Agr. Can., Ottawa.

Siuta, J. 1967. Gleying as an indicator of the water and air regime of a soil. Soviet Soil Sci. No. 3:356-363.

Smith, R.E. 1973. Report of the subcommittee on Gleysolic soils. pp. 309-320 in J.H. Day and P.G. Lajoie, eds. Proc. 9th Meet. Canada Soil Survey Committee. Agriculture Canada, Ottawa.

Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomy. U.S. Dept. Agr. Handbook, No. 436. U.S. Gov't. Printing Office, Washington, D.C.

Stobbe, P.C. 1945. The report of the sub-committee on soil classification. pp. 20-42 in Proc. First Conf. National Soil Survey Committee, Ottawa.

Stobbe, P.C. 1955. Report of the sub-committee on soil classification. pp. 20-42 in Report Third Conf. National Soil Survey Committee.

Stonehouse, H.B. and St. Arnaud, R.J. 1971. Distribution of iron, clay and extractable iron and aluminum in some Saskatchewan soils. Can. J. Soil Sci. 51, 283-292.

Tarnocai, C. 1985. Report of the sub-committee on soil classification. pp. in J.A. Shields (ed.). Proc. 6th Annual meeting, Expert Committee on Soil Survey, Guelph. Agr. Can., Ottawa.

Thomasson, A.J. 1973. Factors influencing the water regimes of gleyed clayey soils in moist temperate regions. pp. 491-502 in Gley and Pseudogley, E. Schlichting and V. Schwertmann, eds. Verlag-Chimie.

Thorp, J. and Smith, G.D. 1949. Higher categories of soil classification: order, suborder and great soil group. Soil Sci. 67:117-126.

Veneman, P.L.M. and Bodine, S.M. 1982. Chemical and morphological soil characteristics in a New England drainage toposequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:359-363.

Vepraskas, M.J. and Wilding, L.P. 1983a. Aquic moisture regimes in soils with and without low chroma colors. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:280-285.

Ibid. 1983b. Albic neoskeletans in argillic horizons as indices of seasonal saturation and iron reduction. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:1201-1208.

Zaydel'man, F.R. 1984. Principles and draft of a classification of mineral soils in humid areas according to degree of hydromorphism and water-logging. Soviet Soil Sci. 16:72-81.

Zobeck, T.M. and Ritchie, A. Jr. 1984. Analysis of long-term water table depth records from a hydrosequence of soils in central Ohio. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:119-125.

Zoltai, S.C. and Tarnocai, C. 1974. Soils and vegetation of hummocky terrain. Environmental-Social Program, Northern Pipelines. Report No. 74-5.

Agriculture Canada

Research Branch | Direction générale de la recherche

Bulletin technique 1986-1F

Revue des concepts et classification des sols gleysoliques au Canada

1886·1986

Sur la couverture, les points sur la carte indiquent
les établissements de recherche d'Agriculture Canada.

CENT ANS DE PROGRES

En 1986, la Direction générale de la recherche d'Agriculture Canada célèbre ses cent ans d'existence.

C'est, en effet, le 2 juin 1886 que la loi appelée *Acte des stations agronomiques* reçut la sanction royale. De son adoption découla la mise sur pied des cinq premières fermes expérimentales situées à: Nappan, en Nouvelle-Écosse; Ottawa, en Ontario; Brandon, au Manitoba; Indian Head, en Saskatchewan (alors englobée dans les Territoires du Nord-Ouest); et Agassiz, en Colombie-Britannique. C'étaient là les débuts du réseau actuel de plus de quarante établissements de recherches disséminés entre St-John, à Terre-Neuve, et Saanichton, en Colombie-Britannique.

Les premières stations agronomiques avaient été fondées pour desservir la communauté des agriculteurs et venir en aide au secteur agricole canadien encore débutant. De nos jours, la Direction générale de la recherche poursuit la même tâche en travaillant aux découvertes technologiques dont dépendent le développement et le maintien d'un secteur agro-alimentaire compétitif.

Les programmes de recherches s'intéressent surtout aux modes d'exploitation du sol, à la production animale et végétale, à la protection des richesses naturelles et à leur gestion, aux biotechnologies et enfin à la transformation et à la qualité des aliments.

Revue des concepts et classification des sols gleysoliques au Canada

J.A. McKEAGUE, C. WANG, C. TARNOCAI et J.A. SHIELDS
Institut de recherches sur les terres (I.R.T.)
Ottawa (Ontario)

Contribution n° 85-08 de l'I.R.T.

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1986

On peut obtenir des exemplaires de ce bulletin à
Institut de recherches sur les terres
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6

Production du Service aux programmes de recherche

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
N° de cat. A54-8/1986-1F
ISBN 0-662-93600-0

Also available in English under the title
Concepts and classification of Gleysolic soils in Canada

Cette publication a été traduite en français par le
Service de traduction d'Agriculture Canada.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	1
INTRODUCTION	2
REVUE DES CONCEPTS ET CLASSIFICATION DES SOLS GLEYSOLIQUES	2
RECHERCHES SUR LES SOLS GLEYSOLIQUES	6
RAPPORT D'ACTIVITÉ SUR LES RECHERCHES RÉCENTES	15
PROJECTS ÉLABORÉS EN 1984	20
CHAPITRE SUR L'ORDRE GLEYSOLIQUE RÉVISÉ	25
CONCLUSIONS	34
REMERCIEMENTS	36
BIBLIOGRAPHIE	37

RÉSUMÉ

L'évolution des façons de concevoir et de classifier les sols gleysoliques au Canada depuis le début du siècle a suivi les progrès de nos connaissances à leur sujet, tant ici qu'à l'étranger. Certains des problèmes courants éprouvés dans la classification de ces sols découlent du parti pris voulant que la systématique des sols doive être compatible avec leur régime hydrique. Or la séparation des deux aux niveaux supérieurs est plus instructive. Bien qu'on ait cherché une gamme de critères plus perfectionnée, la couleur du sol demeure encore la propriété la plus utile qu'on connaisse pour distinguer les sols gleysoliques des autres. Les résultats de propositions récentes en vue d'améliorer les critères de l'ordre gleysolique sont intégrés à un projet de révision de cet ordre. Du travail supplémentaire s'impose pour résoudre un petit nombre de problèmes encore en suspens, mais les besoins de recherches sur les sols gleysoliques sont mineurs en regard de ceux découlant des autres problèmes pédologiques. Le système révisé nécessite des essais dans toutes les régions et la description des problèmes qui surviennent.

ABSTRACT

Developments in concepts and classification of Gleysolic soils in Canada throughout this century emanated from increasing knowledge of soils in this country and elsewhere. Some of the current problems in classifying these soils are shown to be due to a tendency to insist that soil taxonomy should be compatible with the current soil water regime. Separating soil water regime from soil taxonomy at the higher levels conveys additional information. Though more elegant bases of criteria were sought, soil color is still the most useful known property for differentiating Gleysolic soils from others. Results of recent proposals for fine-tuning the criteria of the Gleysolic order are incorporated into a revised draft of the order. Further work is required to resolve a few outstanding problems but the need for research on Gleysolic soils is minor in relation to that on other soil problems. The revised system requires testing in all regions and documentation of problems that arise.

INTRODUCTION

L'insatisfaction générale quant aux critères de différenciation des sols de l'ordre gleysolique s'est exprimée à l'occasion de réunions de prospection pédologique depuis la publication la Classification canadienne des sols en 1970 (ministère de l'Agriculture du Canada). Par exemple, en 1970, l'addition du grand groupe des Pseudogleysols figurait parmi les projets envisagés (McKeague, 1970) et, en 1973, neuf projets de modification ont été examinés (Smith, 1973). Lors de récentes réunions du Comité d'experts sur la prospection pédologique (C.E.P.P.), l'élaboration de critères améliorés de distinction des sols appartenant à l'ordre gleysolique s'est vue accorder la priorité dans la recherche sur la classification des sols (Day, éd. 1979, 1980, 1981). Ces recherches ont été amorcées en 1981 et les projets élaborés ont été examinés à la réunion du C.E.P.P. de 1984 (Tarnocai, 1985). Certains ont été acceptés, mais le besoin d'intensifier les travaux a été souligné. La persistance du problème consistant à définir des critères adéquats de différenciation des sols gleysoliques laisse entrevoir sa complexité.

Le présent rapport a pour objet de revoir brièvement l'évolution des concepts et la classification des sols gleysoliques au Canada, de résumer les résultats des recherches effectuées sur le problème, d'indiquer la justification qui sous-tend les projets actuels de modification à la classification, de reconcevoir le chapitre portant sur l'ordre gleysolique d'après les projets acceptés lors de la dernière réunion du C.E.P.P. (Tarnocai, 1985) et de commenter d'autres besoins de recherches.

REVUE DES CONCEPTS ET CLASSIFICATION DES SOLS GLEYSOLIQUES

Progrès réalisés avant 1963.

Les sols actuellement classifiés comme gleysoliques ont été différenciés dans la cartographie et la classification des sols depuis les tous débuts de la prospection pédologique au Canada. Dans la première prospection effectuée en Ontario, "le drainage" était un critère de série (Ruhnke, 1926). Ces séries, c'est-à-dire la plus faible catégorie dans un système à trois catégories, étaient largement définies et seulement neuf étaient identifiées dans le sud de l'Ontario. Ellis (1932) incluait un associé hydromorphique au troisième niveau à partir du sommet de son système de classification à quatre catégories sur le terrain. Selon lui, les caractéristiques d'hydromorphisme extrême étaient un horizon de gley, des processus de réduction et des couleurs d'un sous-sol marbré. Il n'a pas défini de limites précises entre les sols hydromorphiques et l'associé mieux drainé (phytohydromorphique), mais la décision devait s'appuyer sur la pédomorphologie. Ellis (1932) écrivait: Même si les associés sont déterminés très largement par le relief ou la position, ils ne doivent pas être cartographiés d'après la position, mais d'apres les caractéristiques morphologiques exprimées dans le profil du sol .

Dans la première classification nationale proposée (Stobbe, 1945), les sols humides étaient différenciés dans la quatrième catégorie du système à sept catégories. Aucun critère particulier n'était donné dans cette classification générale. Stobbe (1955) exposait les grandes lignes de la

première classification naturelle ou taxonomique des sols au Canada. Elle incluait les sols gleysoliques dans l'une des sept classes de la plus haute (6^e) catégorie (ordre). La classe était définie comme suit: sols à surface tourbeuse (moins de 12 po) ou minérale riche en matière organique, ou les deux, et à sous-sols ternes (saturation d'au plus 1 ou ne dépassant pas celle du matériau d'origine) ou zébrés de marbrures marquées de couleur plus brillante . La définition était centrée sur les propriétés pédologiques et un énoncé supplémentaire indiquait le milieu associé, par exemple sols mal drainés formés dans diverses conditions climatiques et végétatives en présence d'une nappe phréatique élevée ou très fluctuante. Les classes des catégories 5 (grand groupe) et 4 (sous-groupe) étaient nommées, mais non définies.

L'épellation a changé, mais la définition de l'ordre gleysolique est demeurée essentiellement la même au cours des années subséquentes (Ehrlich 1958, 1960). Même si les critères n'étaient pas spécifiques, le concept de sols gleysoliques incluait leur association avec une saturation d'eau périodique ou permanente et des conditions réductrices. Toutefois, la cartographie des sols gleysoliques s'appuyait probablement au moins autant sur la végétation et la position dans le paysage que sur les propriétés pédologiques. Relativement peu des données, s'il en est, étaient disponibles sur l'amplitude des fluctuations de la nappe phréatique et sur le potentiel rédox des sols du Canada. Même si les descriptions de sols faisaient état de la marmorisation, peu de descriptions détaillées sur l'abondance, la taille et la forme des marbrures, ainsi que sur la couleur des marbrures et de la matrice, avaient été faites au Canada.

Évolution de 1963 à 1981

Les critères plus précis de pigmentation des sols gleysoliques introduits en 1963 (Ehrlich, 1963) s'appuyaient sur des critères analogues pour les sous-ordres Aqu exposés dans la 7^{th} Approximation (Soil Survey Staff, 1960). Ces critères basés sur de faibles saturations de la matrice du sol et sur les marbrures marquées n'avaient pas encore été testés au Canada. Les sous-groupes gleyifiés d'autres ordres n'étaient définis qu'en termes généraux au Canada.

Les critères de couleur des sols gleysoliques sont demeurés essentiellement les mêmes depuis 1963. Les seules modifications de base sont que des pigmentations de gley ou des marbrures marquées devaient apparaître dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale en 1968 et que des marbrures marquées, grises ou brunes, et situées dans des matériaux de couleur rougeâtre ont été ajoutées comme critère en 1978 (Commission canadienne de pédologie (C.C.P.), 1978). Certaines modifications dans la définition de l'ordre ont été apportées en 1968 lorsque l'expression soumis à des conditions réductrices était mentionnée en plus de la saturation d'eau (McKeague, 1968). Un potentiel rédox de moins de 100 mv dans les 50 premiers centimètres du sol était également mentionné comme critère possible. L'accent mis sur la réduction était justifié du fait que les sols pouvaient être saturés d'eau pendant un mois ou plus sans être dépourvus d'oxygène et gleyifiés. Les sols humides déclives (eau courante aérée) et les sols saturés seulement lorsque la température est près de 0 °C étaient cités en exemples.

Les suggestions de modification à l'ordre gleysolique (McKeague, 1970) et (Smith, 1973) témoignent d'une insatisfaction continuelle au sujet de la différenciation des classes dans l'ordre, des définitions et des critères. Par exemple, la question de savoir s'il fallait séparer les gleys phréatiques des pseudogleys a été maintes fois soulevée. Le fait que les critéres ne permettent pas de distinguer les sous-groupes gleyifiés des sols gleysoliques est un sujet de discussion permanent; en effet, des critères régionaux ont été examinés, mais laissés de côté en faveur du maintien d'un système national de classification (Smith, 1973). La classification actuelle (C.C.P., 1978) est un peu plus spécifique que les versions précédentes en ce sens qu'elle indique les limites entre les sols gleysoliques et ceux d'autres ordres, mais les critères de couleur fondamentaux sont demeurés inchangés, à l'exception des matériaux rougeâtres mentionnés dans le paragraphe précédent. Peut-être la modification principale réside-t-elle dans la tentative de justifier le système et dans les répercussions inhérentes à la classification des sols gleysoliques.

Une certaine confusion est née de la contradiction entre un énoncé général des critères et les critères particuliers. L'énoncé général de la page 79 (C.C.P., 1978) est le suivant: «Les sols gleysoliques ont dans les 50 cm de la surface minérale, soit une matrice de faible saturation en couleur ou des marbrures distinctes à marquées avec forte saturation en couleur.» En revanche, les critères particuliers exigent dans les 50 premiers centimètres des saturations d'au plus 1 sans marbrures ou des saturations maximales de 3, selon la teinte, accompagnées de marbrures marquées. Les conséquences de cette contradiction sont visibles dans les exemples suivants. Supposons qu'un horizon situé à une profondeur de 20 à 50 cm de la surface possède une pigmentation matricielle de 10YR 4/3 avec marbrures de 10YR 4/6. Ce serait le diagnostic d'un sol gleysolique selon l'énoncé général cité; en effet, des marbrures distinctes apparaissent dans les 50 premiers centimètres. Or, l'application des critères particuliers exclurait le sol de l'ordre gleysolique; en effet, la saturation matricielle est trop forte et les marbrures ne sont pas marquées. Les critères particuliers étaient intentionnels, mais l'énoncé des critères de l'ordre gleysolique est ambigu.

Les marbrures distinctes et marquées sont définies en termes légèrement différents que ceux de Day (1983) de la façon suivante:

Les marbrures distinctes ont généralement la même teinte que celles de la matrice du sol, mais diffèrent par 2 à 4 unités de saturation ou par 3 à 4 unités de luminosité; ou, elles peuvent différer de la couleur matricielle par 2,5 unités (1 page de Munsell) de teinte, mais par au plus une unité de saturation ou 2 unités de luminosité.

Les marbrures marquées qui ont une saturation et une luminosité moyennes diffèrent généralement de la couleur de la matrice du sol par au moins 5 unités de teinte si la saturation et la luminosité sont les mêmes, par au moins 4 unités de luminosité ou de saturation si la teinte est la même, ou par au moins 2 unités de saturation ou 3 unités de luminosité si

la teintediffère de 2,5 unités. La dernière partie de la définition diffère de celle de Day (1983) afin d'éviter l'ambiguïté entre les termes distinctes et marquées.

Ce résumé de l'évolution laisse entrevoir deux étapes principales dans la classification des sols gleysoliques. La première est survenue en 1955 lorsqu'on est passé d'une classification sur le terrain (Stobbe, 1945) à une classification «taxonomique» (Stobbe, 1955). Donnons un exemple pour illustrer les conséquences de ce changement. Prenons par exemple une zone de sols morainiques ondulés dans la région d'Edmonton des plaines de l'intérieur. La classification d'une zone sur le terrain, disons A, de plusieurs kilomètres carrés du niveau le plus élevé au plus bas serait probablement la suivante: région des sols de prairie, zone de sols noirs, sous-zone de sols noir foncé, association E (selon le matériau d'origine), associés x, y, z etc. (le nombre dépendrait des différences locales dans le drainage, la salinité, etc.). Ainsi, au quatrième niveau, la zone A représentait une seule entité dans la classification sur le terrain, tout comme elle pourrait être une seule zone occupée par une classe d'une unité cartographique aujourd'hui. Dans la Classification de 1955, la zone A comprendrait quasi certainement des sols de deux classes au plus haut niveau, soit chernozémique et gleysolique, et pourrait également inclure certains pédons halomorphiques et organiques. La zone A pourrait être désignée, à l'aide de la Classification de 1955, comme une zone occupée d'une unité cartographique E incluant des sols à dominance noirs formés dans du till légèrement calcaire de texture limono-argileuse, avec des gleys podzoliques et des sols de prairie occupant les dépressions, environ 20 % de la zone, et des inclusions secondaires de solonetz noirs.

Le système de 1945 était une classification des unités cartographiques, alors que le système de 1955 était conçu de façon à classer les sols à l'intérieur d'unités cartographiques. Ainsi, comme le montre l'exemple, une unité cartographique logiquement établie pourrait inclure plusieurs classes de sols, même au niveau de catégorie le plus élevé. Bien que cette conséquence était comprise par Stobbe (1945, 1955) et qu'elle n'impose aucune contrainte à la façon de cartographier les sols, elle est considérée, à ce jour, comme un problème par certains pédologues.

Le second changement d'importance est survenu en 1963 lorsque des critères relativement précis ont été introduits pour classifier les sols gleysoliques (Ehrlich, 1963). Cette mesure a été prise, en partie à cause du manque d'uniformité dans la classification des sols basée sur des définitions générales de classes. Les critères récemment publiés et élaborés aux États-Unis (Soil Survey Staff, 1960) ont servi de recette prête à l'emploi. L'application de ces critères et d'autres légèrement modifiés qui ont suivi a entraîné l'attribution de pédons à des classes qui ne correspondaient aux concepts locaux sur la façon dont les sols devraient être classifiés. D'aucuns ont ignoré les critères et d'autres les ont appliqués et ont suggéré les modifications qui ont été examinées à de nombreuses réunions nationales de prospection pédologique.

Les progrès réalisés dans la classification et la conception des sols pédologiques au Canada ont évolué par suite des progrès réalisés dans d'autres pays et des recherches effectuées au Canada.

RECHERCHES SUR LES SOLS GLEYSOLIQUES

Les nombreuses publications scientifiques sur les phénomènes et les processus de gleyification des sols n'ont pas toutes été dépouillées, mais nous cherchons plutôt à résumer certains résultats importants et leurs conséquences sur la classification des sols dans d'autres pays, et à donner un aperçu plus complet des recherches effectuées au Canada.

Progrès réalisés dans d'autres pays avant 1960

Le phénomène de gleyification et son rapport avec la saturation d'eau, l'absence d'oxygène, la réduction du fer et la présence de couleur grise, grisâtre ou bleuâtre terne sont connus en pédologie depuis le tournant du siècle (Joffe, 1936; Bloomfield, 1949), sinon avant cela. Dans plusieurs pays d'Europe de l'Ouest, les gleys à nappe superficielle (pseudogleys) et à nappe alimentée souterrainement ont été considérés comme des classes différentes au plus haut niveau pendant plus de 30 ans (Muckenhausen, 1963, voir également les communications sur le pseudogley et le gley, E. Schlichting et U. Schwertmann, eds. 1973). En Amérique du Nord, cette distinction n'était pas faite. À partir de travaux comme celui de Bloomfield (1951), on croyait que dans les sols saturés pourvus de sources d'énergie disponibles, la respiration des bactéries hétérotrophes débouchait sur la déperdition d'oxygène, la formation de conditions réductrices et la transformation du Mn (IV) et du Fe (III) en des formes réduites plus solubles. L'extraction des enrobements d'oxyde ferrique se soldait par la couleur grise terne de certains gleys, alors que d'autres tournaient au gris verdâtre ou bleuâtre à cause de la formation de composés ferreux pigmentés. L'oxydation localisée du Fe (II) et du Mn (II) et la déposition des oxydes aboutissaient à la formation de marbrures brunes ou noires.

La classification américaine, 1960

Les sols dont les propriétés rendent compte de l'influence majeure d'une saturation et d'une réduction périodique ont été classifiés dans la 7th Approximation comme des sous-ordres Aqu de sept des dix ordres en remplacement des anciens grands groupes Gley humique, Gley peu humique et Demi-tourbière (Soil Survey Staff, 1960). Ces grands groupes avaient été classifiés dans le sous-ordre hydromorphique des sols intrazonaux (Thorp et Smith, 1949). Les critères relativement précis mentionnés pour le nouveau sous-ordre Aqu avaient des éléments en commun, mais différaient dans les détails d'un ordre à l'autre. Par exemple, de faibles saturations, selon la teinte, accompagnées par une marmorisation marquée à une certaine profondeur étaient le signe distinctif de tous les sous-ordres Aqu, à l'exception d'un horizon Ae de Mollisols. Toutefois, la présence d'un épipédon histique isolé indiquait l'existence d'Aquents, d'Aquepts, d'Aquolls et d'Aquods, mais pas d'Aqualfs et d'Aquults. Les critères s'appuyaient sur une généralisation des propriétés des pédons déjà décrits et sur un nombre limité d'essais de la classification résultante d'autres pédons par rapport à la classification en apparence exacte. Au Canada, nous n'avons adopté que les critères de pigmentation et de profondeur précisés pour les Aquents et les Aquepts comme caractéristiques des sols gleysoliques (ministère de l'Agriculture du Canada, 1970).

Recherche au Canada jusqu'en 1960

Presque toute l'information sur les sols qui seraient maintenant classifiés comme gleysoliques provient du travail de prospection pédologique. Ces sols ont été décrits dans des rapports en provenance de toutes les provinces et des données analytiques ont été produites pour certains d'entre eux. Au cours de la dernière décennie de la période, les couleurs matricielles ont été indiquées par des unités Munsell dans certains rapports, mais les marbrures n'ont été décrites qu'en termes généraux, comme l'expression marbrures rouilles . Le peu de recherches particulières sur les processus et les propriétés des sols gleysoliques est évident d'après la bibliographie d'Atkinson (1971) qui n'indique aucune entrée sous la rubrique gley ou gleysolique avant 1960.

L'ouvrage d'Ignatieff (1937, 1941) sur la présence de Fe (II) dans les sols était probablement la première recherche canadienne publiée sur les processus à l'oeuvre dans les sols gleysoliques. Il a constaté que l'$AlCl_3$ aqueux (solution à 3 %) constituait un extractif efficace du Fe (II) réduit dans les sols et ses résultats révèlent qu'il ne réduisait pas le Fe (III) oxydé. L'ennoyage des sols entraînait une augmentation marquée du Fe (II) réduit extractible. Mais seulement de faibles quantités de fer (II) réduit étaient en solution dans les colonnes de sol saturées d'eau. Par conséquent, une grande proportion du Fe réduit peut avoir été absorbée sous forme de Fe (II) échangeable.

Ignatieff (1941) a montré que son essai de terrain comprenant l'extraction de sol à l'$AlCl_3$ et la révélation de la couleur au dipryridyl ne donnaient que d'infimes quantités de Fe (II) dans les sols bien drainés et des quantités substantielles dans les sols saturés d'eau. Après aération d'échantillons saturés, la teneur en Fe (II) extractible diminuait considérablement, signe d'une oxydation rapide. Les échantillons saturés d'eau stérilisés ne produisaient que de faibles quantités de Fe (II) contrairement à des échantillons saturés d'eau non stérilisée du même sol, ce qui prouve que la réduction du fer est un processus à toutes fins utiles biologique.

À notre connaissance, cet ouvrage a eu peu d'influence au moment de sa parution ou même des décennies plus tard lorsqu'on a cherché à trouver les bases de critères particuliers de description des sols gleysoliques et de l'utilité des essais de terrain. Nulle part il n'est fait mention d'une vérification détaillée de l'utilité de l'essai de terrain proposé, même si l'utilisation d'$AlCl_3$ comme extractif a été mise en doute par Bloomfield (1951). Récemment, Childs (1981) a recommandé l'utilisation d'une méthode analogue en Nouvelle-Zélande.

McKeague (1958) a étudié les propriétés et la pédogenèse de «podzols bourbeux» ou de «podzols de dépression», ou sols gleyifiés caractérisés par des horizons éluviaux situés dans des dépressions de la région sub-humide des Prairies. Ces sols différaient des sols chernozémiques et gris forestiers associés par leur pigmentation terne et leurs marbrures, et probablement par leurs potentiels rédox comme l'ont indiqué des études de colonnes de sols en laboratoire. Il a conclu que bon nombre de ces sols devraient être classifiés dans le système actuel (Stobbe, 1955) comme des gleys forestiers gris, mais que les gleys éluviés seraient plus ap-

propriés. Toutefois, quelques-uns des sols semblaient appartenir à la classe des sols forestiers gris mal drainés.

McKeague et Bentley (1960) ont signalé que les potentiels rédox de sols en colonnes dont la surface était couverte de feuilles de tremble hachées réagissaient aux oscillations de la nappe phréatique. Les potentiels variant de -150 à -200 mv ont été mesurés dans la colonne saturée en permanence et du Fe réduit (II) se retrouvait dans le percolat. Les potentiels des colonnes bien drainées étaient de +600 à +700 mv. Sans addition de matière organique, les potentiels rédox n'ont pas diminué à la saturation.

Recherches effectuées en Europe depuis 1960

Les documents sur le gley et le pseudogley (Schlichting et Schwertmann, eds., 1973) rendent compte de l'état actuel des connaissances sur les sols gleyifiés, particulièrement en Europe, en 1970. Dans la plupart des pays européens, les gleys et pseudogleys phréatiques ont été, et sont encore, distingués au niveau élevé dans les systèmes de classification. Les données de base sur les régimes hydriques, la morphologie des sols et les conditions d'oxydo-réduction à différentes profondeurs ne sont toutefois pas convaincantes. Certaines des données applicables aux sols à gley peuvent être interprétées comme une indication de la présence de nappes phréatiques élevées (Thomasson, 1973). Bon nombre de sols subissent probablement l'influence de l'eau souterraine et d'une nappe phréatique temporairement perchée. La différence entre les pseudogleys et les gleys phréatiques réside davantage dans les concepts de pédogenèse que dans la preuve nettement établie d'une différence de régimes hydriques ou de propriétés pédologiques indiquant la cause de la gleyification (Muckenhausen, 1965). Certains des concepts en cause et un certain nombre de types de gleys compris dans la Classification française figurent dans l'ouvrage de Duchaufour (1982).

Les communications présentées à la conférence sur les gleys et les pseudogleys (E. Schlichting et U. Schwertmann, eds., 1973) et les discussions qui ont eu lieu au cours des excursions de terrain correspondantes ont révélé les concepts de rapports entre la morphologie des sols et le genre de gleyification. Voici une interprétation de ces concepts. Les sols caractérisés par des nappes phréatiques élevées devraient avoir un horizon gris non marbré situé sous la profondeur maximale de la nappe. Au-dessus de cet horizon, c'est-à-dire dans la zone saturée périodiquement, le sol devrait être gris et pourvu de nodules ou d'enrobements d'oxyde de fer ou d'oxydes de fer et de manganèse brun rougeâtre à noirs. Ces oxydes devraient avoir tendance à se retrouver à la surface des agrégats naturels car le Fe (II) et le Mn (II) dans le sol saturé d'eau devraient diffuser vers les surfaces d'assèchement des agrégats lorsque la nappe phréatique descend. L'oxydation et la déposition devraient donc se produire à (ou près de) la surface de l'agrégat. Dans certains cas, les oxydes de fer et de manganèse peuvent être déposés dans un horizon situé au-dessus d'une nappe phréatique relativement stable. En revanche, dans les pseudogleys, la réduction est considérée comme étant la plus intense à la surface des agrégats du sol situés au-dessus de l'horizon relativement imperméable. Il est plausible que de l'eau transportant quelques matériaux organiques remplisse les gros pores entre les agrégats après de fortes pluies, que

l'activité microbienne épuise l'oxygène disponible, que des conditions réductrices se développent et que le Fe (III) soit réduit près de la surface des agrégats. Une partie du fer (II) ainsi formé migre avec la solution de sol vers l'intérieur non saturé de l'agrégat où il peut être réoxydé. Ainsi, les pseudogleys ont-ils tendance à posséder des agrégats aux faces blanchies, ainsi que des nodules ou d'autres dépôts riches en fer dans les agrégats situés au-dessus de la couche relativement imperméable.

La mise à l'épreuve de ces concepts relatifs à la morphologie des sols désignés comme des gleys ou des pseudogleys phréatiques a révélé qu'ils n'étaient pas suffisamment valables. En effet, certains sols possédaient des agrégats aux faces blanchies et d'autres, aux faces rougeâtres présumément enrichies de fer. Il ne semblait y avoir aucune différence constante dans la morphologie des sols désignés comme gleys et pseudogleys phréatiques.

Le même problème entre les concepts et la morphologie des gleys présumés à nappe profonde et superficielle a fait surface lors de l'excursion en Angleterre qui a suivi la réunion de micromorphologie en 1981 (Murphy et Bullock, eds., 1981). M. Avery, auteur de la Classification britannique (Avery, 1980), a exprimé des doutes au sujet de la pertinence de séparer les gleys à nappe superficielle et profonde au niveau du grand groupe. Dans la Classification britannique, la séparation s'appuie principalement sur le fait qu'il existe ou non un horizon subsuperficiel lentement perméable (horizon Ksat $<$10 cm/jour^{-1}).

Ponnamperuma (1972) a résumé la chimie d'un sol submergé, en l'occurrence bon nombre des données de base nécessaires pour calculer les équilibres de systèmes pédologiques dans diverses conditions rédox. Il a montré que la séquence de réduction des systèmes pédologiques est la suivante: oxygène, nitrate, manganèse, fer, sulfate. Malgré les problèmes théoriques et pratiques inhérents à l'obtention de mesures fidèles du potentiel rédox dans les sols, il renforce l'opinion voulant que la mesure du potentiel rédox d'un sol fournisse une évaluation approximative, mais rapide et utile, de son état d'oxydo-réduction.

Brinkman (1970) a introduit le concept de ferrolyse pour expliquer le faible pH de certains horizons à gley situés près de la surface. Ce mécanisme est résumé par l'explication de Bouma (1983). Lorsqu'un sol est réduit, le fer à l'état ferreux remplace certaines des bases échangeables et une partie de l'Al. Les cations ainsi déplacés peuvent être lessivés de l'horizon, latéralement et vers le bas. Par l'action de l'aération et de l'oxydation, le fer (II) échangeable serait oxydé en produisant de l'hydroxyde ferrique et des ions hydrogènes: $Fe(II)+3H_2O = Fe(OH)_3+3H^+$. Les ions hydrogènes attaqueraient les silicates en l'absence de carbonates, en libérant de l'Al qui dominerait le complexe d'échange et formerait peut-être des feuillets dans les argiles.

Le mécanisme est plausible dans certaines conditions, soit l'absence de carbonates, l'extraction efficace des solutés et un mouvement ascendant négligeable des cations basiques provenant de la couche située sous la nappe phréatique. Il s'agit probablement d'un processus secondaire dans la plupart des sols gleysoliques au Canada car les horizons Aeg des sols gleysoliques n'ont généralement pas des valeurs de pH plus faibles que les

horizons correspondants des sols associés.

Siuta (1967) a résumé certaines des opinions d'Européens de l'Est sur les phénomènes de gleyification reliés aux régimes hydriques. Selon lui, les phénomènes de gleyification peuvent être utilisés efficacement pour évaluer les régimes hydriques et les conditions rédox de sols si les différences de texture sont prises en compte.

Zaydel'man (1984) a conclu toutefois que la classification des sols fondée sur les caractères morphologiques reliés à l'hydromorphisme est incomplète. Il a suggéré l'élaboration d'un système de classification basé sur des principes hydro-écologiques, mais n'a pas donné de définitions précises des classes.

Murphy (1984) a donné de l'information détaillée, notamment sur les caractères micromorphologiques des gleys à nappe superficielle en Angleterre. Bon nombre des horizons gleyifiés possédaient des néoalbans (faces d'agrégats blanchies), mais certains affichaient également des néoferrans ou des néomangans (faces colorées de matériaux enrichis de fer ou de manganèse). Les caractères micromorphologiques, quoique intéressants, ne semblent pas utiles pour différencier les sols gleysoliques.

Recherches effectuées aux États-Unis depuis 1960

Certains résultats de recherches effectuées aux États-Unis se traduisent dans les critères de différenciation des sous-ordres Aqu de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) et diffèrent de ceux figurant dans la 7th Approximation (Soil Survey Staff, 1960). Par exemple, dans le cas d'Aquents, des critères particuliers de pigmentation figurent dans la Soil Taxonomy pour les sols saturés d'eau en permanence par opposition aux sols saturés périodiquement. En outre, les critères de pigmentation dépendent dans une certaine mesure de la texture. Pour les Aquolls, les critères diagnostiques de couleur s'appliquent aux matériaux situés «immédiatement sous l'épipédon mollique, ou dans les 75 premiers centimètres de la surface s'il existe un horizon calcique,» (Soil Survey Staff, 1975). Aussi, la présence d'un horizon calcique ou pétrocalcique dont la limite supérieure est située dans les 40 premiers centimètres de la surface est caractéristique d'Aquolls pour les Mollisols qui n'ont pas d'horizon albique et qui ont un régime hydrique aquique ou sont drainés artificiellement. De même, les critères diagnostiques d'autres sous-ordres Aqu ont été modifiés d'après l'information obtenue entre 1960 et autour de 1970.

Certains des résultats les plus récents sur les rapports entre le régime hydrique des sols et la morphologie à gley dans certains sols du Wisconsin sont résumés par Bouma (1983). Il a illustré avec diagrammes à l'appui certains rapports existant entre le potentiel capilaire de l'eau du sol, le potentiel rédox et les phénomènes de gleyification. Par exemple, selon le diagramme, les saturations matricielles inférieures à 2 sont les plus communes dans les horizons saturés d'eau dont les potentiels rédox sont tels que le Fe et le Mn sont à l'état réduit à longueur d'année. Les enrobages et les nodules de manganèse se rencontrent le plus souvent dans les horizons qui ne sont saturés que pendant de brèves périodes et dont les potentiels rédox sont tels que le Mn est réduit pendant de brèves périodes, alors que le Fe demeure oxydé. Des rapports analogues entre le régime

hydrique et la morphologie à gley ont été signalés par Anderson (1984) pour des sols du Minnesota. Toutefois, Franzmeier et al. (1983) ont trouvé que certains sols de l'Indiana saturés pendant des périodes prolongées affichaient des saturations matricielles de 3. Vepraskas et Wilding (1983) ont signalé que certains sols du Texas possédaient des régimes hydriques aquiques et des saturations matricielles de 3. Ils ont suggéré que les néosquelettes albiques (faces d'agrégats blanchies partiellement dépourvues d'argile) sont caractéristiques des régimes aquiques.

Plusieurs autres publications récentes font état de rapports particuliers entre la morphologie à gley et, soit la classe de drainage du sol, soit les oscillations mesurées de la nappe phréatique. Richardson et Hole (1979) ont observé des marbrures grises dans des sols modérément bien et assez mal drainés. Les faces d'agrégats de ceux-ci affichaient des saturations plus faibles. Les sols mal drainés de la séquence Glossoboralf Haplaquoll dans le nord-ouest du Wisconsin possédaient des albans gris (faces d'agrégats blanchies) et des nodules de fer et de manganèse. Les sols très mal drainés présentaient des albans épais recouvrant des quasiferrans (dépôts subsuperficiels enrichis de fer) et affichaient les couleurs du gley. Zobeck et Ritchie (1984) ont conclu que pour les sols qu'ils ont étudiés en Ohio, la présence de marbrures de faible saturation supposait un plus fort degré de saturation d'eau que les enrobements d'agrégats de la même luminosité et saturation de couleur (4/2).

Pickering et Veneman (1984), ainsi que Veneman et Bodine (1982), ont décrit les pigmentations et les marbrures en détail de sols de texture grossière à moyenne à fragipans au Massachusetts. Ils ont constaté que la terminologie utilisée en micromorphologie (Brewer, 1964) était utile pour décrire les modes de marmorisation et que la morphologie témoignait des régimes hydriques et des conditions rédox.

En général, beaucoup de recherches récemment signalées aux États-Unis font état des rapports qui existent entre les régimes hydriques mesurés ou déduits des sols et les phénomènes de gleyification comme les faibles saturations et les marbrures de forte et faible saturation. Certains de ces travaux posent comme hypothèse que le régime hydrique actuel est le même que celui qui existait au cours de la pédogenèse. En règle générale, les résultats donnent à penser que les phénomènes observables de gleyification ne dépendent pas seulement des régimes hydriques et des conditions rédox actuelles et antérieures, mais également de la nature des matériaux du sol et peut-être d'autres facteurs. Les critères morphologiques actuels (Soil Survey Staff, 1975) caractéristiques des sous-ordres Aqu ne suffisent pas à tenir compte des régimes hydriques aquiques de certains sols.

Recherches effectuées au Canada de 1960 à 1981

Les recherches relatives aux sols gleysoliques ont été probablement motivées surtout par deux événements depuis 1960:

1. La plus grande importance accordée par la C.C.P. aux régimes hydriques des sols. Matthews (1963) a défini des classes d'humidité du sol en termes de durée de la teneur en eau excédentaire à la capacité au champ; auparavant, ces classes s'appuyaient sur la morphologie (couleur et marbrures). L'accent mis sur l'humidité comme telle a

stimulé les travaux sur la mesure directe de la teneur en eau du sol. McKeague (1970) a recommandé la mise au point d'un système de classification des divers aspects du régime hydrique des sols comme la nappe phréatique, la teneur en eau et l'infiltration. Le besoin de données à long terme à des emplacements bien choisis a été souligné et les sources de quelques-unes des données disponibles sur les nappes phréatiques, la conductivité hydraulique, etc. ont été résumées. Le débat sur la caractérisation des régimes hydriques des sols s'est poursuivi sous la présidence de Mackintosh (1973, 1976) et l'essai d'un nouveau système a été recommandé pour 1981 (Nowland, 1981). Le système classifie plusieurs propriétés du régime hydrique du sol, soit indice d'aridité, la transmissibilité des sols, la zone saturée, l'infiltration, l'état de la nappe phréatique à longueur d'année. Ce cadre particulier permettra sans aucun doute d'intensifier la collecte de données et la mise à l'essai du système.

2. L'apparition de critères particuliers de classification des sols au Canada après 1963 (Ehrlich, 1963). Les pédologues ont été invités à tester les critères de faible saturation et de marmorisation des sols cartographiés. Des problèmes ont été identifiés et certains d'entre eux ont fait l'objet de recheche.

Quelques exemples précis de recherches relatives à la classification des sols gleysoliques sont donnés ici; il ne faudra donc pas s'étonner que certaines publications pertinentes ne soient pas mentionnées.

A. Études de terrain reliant la nappe phréatique du sol à la couleur, à la marmorisation, aux potentiels rédox, etc.

McKeague (1965 a et b). Les données sur les nappes phréatiques et les potentiels rédox ont été rapportées pendant deux ans à trois emplacements de sol sableux non cultivé et à trois emplacements de sol argileux non cultivé à diverses teneurs en eau près d'Ottawa, et des échantillons ont été analysés. En règle générale, les potentiels rédox rendent compte de la nappe phréatique, c'est-à-dire que les potentiels inférieurs à 100 mv ne se rencontrent que dans les sols saturés. Les faibles saturations et les marbrures rouilles marquées ne se trouvent que dans les horizons soumis à une saturation périodique. Dans le sol sableux mal drainé, on observe une accumulation marquée de fer extractible à la dithionite au-dessus du niveau de la nappe phréatique estivale. Ce type de sol et d'autres du même genre ont formé la base des sous-groupes ferrique des sols gleysoliques définis pour la première fois en 1965 (Erhlich, 1965). En général, les résultats de cette étude étaient compatibles avec le modèle conceptuel des rapports existant entre la nappe phréatique, les potentiels rédox et la morphologie du sol.

Crown et Hoffman (1970) ont entrepris de déterminer si les types de marbrures pouvaient être reliés à la profondeur de la nappe phréatique. Ils ont décrit quatre profils sur une déclive de 2 %, mesuré régulièrement la nappe de mai jusqu'à la fin d'août et constaté que la nappe était en surface à tous les emplacements au mois d'octobre. Ils ont noté une tendance à l'existence de limites de marbrures plus diffuses et à l'accroissement de la taille et de l'abondance des marbrures avec l'augmentation de la durée de saturation de l'horizon.

Macyk et al. (1978) ont mesuré la nappe phréatique, la teneur en eau, la température et le potentiel rédox de sept emplacements sur un monticule de till près d'Edmonton de mai à octobre, pendant deux ans. Les sols ont été décrits et des échantillons ont été analysés. Ils ont signalé l'existence de rapports entre la nappe phréatique, le potentiel rédox et la morphologie du sol.

DeKimpe et al. (1974) ont étudié la morphologie de sols, la nappe phréatique et le potentiel rédox à cinq emplacements déclives près de la ville de Québec. Les résultats généraux ont été semblables à ceux obtenus par McKeague (1965 a et b) bien qu'ils aient révélé la présence de conditions réductrices et de marbrures à gley dans un horizon saturé périodiquement, mais qui n'était jamais situé sous la nappe phréatique comme le pédologue a pu le mesurer dans un puits à revêtement perforé.

Michalyna (1974), ainsi que Michalyna et Rust (1984 a et b), ont fait rapport sur des études de sols argileux et sableux dans le sud du Manitoba. Ils ont mesuré la nappe phréatique, le potentiel rédox, la température et la composition de l'eau souterraine de certains d'entre eux. Quelques-uns des sols classifiés comme gleysoliques (Michalyna, 1974) affichaient des nappes phréatiques qui demeuraient sous la barre des 1 m et des potentiels rédox élevés pendant toute la période de mesure. Dans certains sols, l'eau s'accumulait en mare à la surface au printemps sur sous-sol gelé et de faibles potentiels rédox ont été mesurés près de la surface.

Tous les sols présentaient des pigmentations matricielles de saturation relativement faible (généralement 1 ou 2) et la plupart d'entre eux affichaient des marbrures allant de distinctes à marquées à une certaine profondeur. Les critères actuels ne suffisaient pas pour distinguer certains des pédons classifiés comme gleysols humiques selon les premiers concepts de certains autres pédons classifiés comme noirs (chernozémiques). Plusieurs des sols sableux présentaient des horizons subsuperficiels carbonatés gris clair.

La plupart de ces rares études et d'études analogues effectuées dans d'autres pays révèlent l'existence d'une bonne relation générale entre la nappe phréatique, le potentiel rédox et les indicateurs morphologiques d'oxydo-réduction, mais il existe des exceptions. Rares sont les études qui décrivent la morphologie suffisamment en détail pour aider à évaluer les particularités des critères morphologiques de la gleyification et certaines des publications font peu de rapport entre les couleurs Munsell déclarées de la matrice et des marbrures et l'adjectif utilisé pour décrire l'importance de celles-ci.

B. Autres études comportant l'analyse d'échantillons de sols gleysoliques

Michalyna (1971) a décrit en détail les propriétés morphologiques et mesurées en laboratoire des sols éluviaux du Manitoba allant du Luvisol gris orthique au gleysol éluvié humique. Selon lui, les critères de pigmentation et de marbrure n'étaient pas entièrement satisfaisants pour distinguer les gleysols éluviés des luvisols gris gleyifiés. Les données sur la teneur en Fe extractible et en Mn total ont été utiles pour différencier les sols étudiés. Par exemple, la plus forte teneur en Mn total

se rencontre à des profondeurs progressivement moindres dans les sols de plus en plus fortement gleyifiés. En outre, les rapports des teneurs en Fe extractible à l'oxalate/dithionite (Fe_o/Fe_d) dans les horizons BC étaient progressivement plus élevés pour les sols de plus en plus fortement gleyifiés.

McKeague et al. (1971) ont analysé cinq sols gleyifiés possédant des horizons B à marbrures rouilles marquées, peut-être des gleysols ferrique. Tous les sols, qu'ils soient acides ou neutres, affichaient des maximums de Fe extractible à la dithionite dans un horizon B très marbré, mais seulement deux d'entre eux ont satisfait la norme d'un sous-groupe férrique (horizon Bgf, au moins 1 % de plus de Fe extractible à la dithionite que l'horizon C associé). De la géothite a été décelée dans la plupart des marbrures rouilles analysées.

Michalyna (1974), ainsi que Michalyna et Rust (1984 a et b), ont constaté que la distribution, selon la profondeur, du fer et du manganèse et les rapports des teneurs en fer extractible à l'oxalate/dithionite dans certains sols des associations rivière Rouge-Osborne et Almasippi ne suivaient pas les tendances observées dans une étude antérieure de luvisols gris gleyifiés et de Gleysols luviques (Michalyna, 1971). Les sols de l'association Almasippi sableuse affichaient de faibles teneurs (0,1 à 0,2 %) en fer - dithionite (Fe_d) dans l'horizon A. Ils n'ont constaté aucune teneur maximale en Fe_d dans les horizons marbrés.

Stonehouse et St-Arnaud (1971) ont montré que des sols gleysoliques différaient de sols chernozémiques, solonetziques et luvisoliques de la Saskatchewan par un rapport élevé des teneurs en Fe extractible à l'oxalate/dithionite (Fe_o/Fe_d) dans l'horizon Ae. Ils ont suggéré que les sols gleysoliques pourraient être séparés d'autres sols s'ils satisfont le critère du rapport $Fe_o/Fe_d > 0,35$ dans les horizons supérieurs.

C. Autres recherches connexes

Eilers (1973) a terminé une étude importante dans laquelle il reliait l'écoulement de l'eau souterraine à la morphologie du sol dans le sud-ouest du Manitoba. Il a montré l'existence de rapports certains entre l'écoulement phréatique et les propriétés du sol. Par exemple, certains sols éluviés étaient associés à des zones de reconstitution de l'eau phréatique alors que les sols salins et carbonatés se rencontraient dans les zones de résurgence. L'ouvrage montre l'importance de tenir compte de l'information ponctuelle sur les nappes phréatiques et la morphologie du sol dans le contexte des systèmes d'écoulement de l'eau phréatique de la zone en général. Des études analogues ont été effectuées récemment en Saskatchewan (Miller, 1983).

Mackintosh et Van der Hulst (1978) ont mesuré des nappes phréatiques de sols bien, imparfaitement, mal et très mal drainés de cinq caténas en Ontario. Les classes de drainage ont été réparties selon la morphologie du sol et la position dans le paysage. Les auteurs ont calculé le nombre de jours qu'un sol renferme de l'eau libre à diverses profondeurs allant de 30 à 150 cm et ont relié la durée de saturation à ces profondeurs aux classes de drainage. Bien que la durée de saturation à une profondeur donnée soit plus longue en règle générale pour les sols de plus en plus mal drainés,

ils ont constaté beaucoup de chevauchement entre les classes. La variation de la durée de saturation dans une même classe était également considérable. Pour ce qui est du problème de l'ordre gleysolique et des sous-groupes gleyifiés, les résultats pourraient être interprétés comme une autre preuve voulant que les classes «d'humidité» des sols ne soient pas les mêmes que les classes de «niveau» de gleyification.

McKeague (1965c) a étudié l'effet de la nature du matériau du sol sur la manifestation de la gleyification dans des échantillons soumis à des conditions de nappe phréatique contrôlées en laboratoire. Les phénomènes de gleyification (pigmentations grises et marbrures rouilles) se sont formés très nettement et rapidement dans les échantillons de couleur brunâtre contenant de la matière organique. En revanche, un échantillon d'argile grise gleyifiée, peu importe le traitement, a subi peu de changement. De faibles potentiels rédox se sont développés beaucoup plus rapidement à la température ambiante (environ 23°C) qu'à 5°C ou particulièrement 1°C. Par contre, des potentiels inférieurs à 0 mv se sont formés dans certains échantillons gardés à 1°C.

RAPPORT D'ACTIVITÉ SUR LES RECHERCHES RÉCENTES

Excursion de terrain au Manitoba et en Saskatchewan, du 8 au 12 juin 1981.

Nous avons examiné divers sols formés dans des argiles et des sables éluviaux et dans le till; la plupart ont été classifiés, soit comme des sols gleysoliques, soit comme des sous-groupes gleyifiés de sols chernozémiques. L'excursion a été un bon exemple du fait que rien ne peut remplacer l'observation directe des sols dans le paysage avec les gens qui les cartographient, les mettent en corrélation et les interprètent pour diverses utilisations. Les problèmes de classification des sols ont quelque chose à voir avec les concepts personnels et régionaux, l'histoire, les préoccupations au sujet des interprétations possibles et diverses autres questions en plus des problèmes complexes que représente la subdivision de l'ensemble des propriétés pédologiques en classes non équivoques et compréhensibles.

Voici certains des problèmes relevés:

1. Les sols dotés d'un horizon chernozémique A recouvrant un horizon à une profondeur d'environ 25 cm enrichi de carbonates secondaires et gris (5Y 4/1). Sous cet horizon, le matériau calcaire peut être marbré ou non. Une application rigoureuse des critères actuels (C.C.P., 1978) ferait en sorte que ces sols seraient classifiés comme des Gleysols humiques. L'horizon carbonaté a une saturation d'au plus 1. La faible saturation peut être attribuable toutefois à la pigmentation du carbonate secondaire et non à la réduction. Dans la Soil Taxonomy, un tel sol serait un Aquoll car la présence d'un horizon calcique dans les 40 premiers centimètres est caractéristique, soit d'un régime hydrique aquique, soit d'un drainage artificiel. Dans la légende de la FAO (FAO-Unesco, 1974), se serait un chernozem (pas un gleysol du fait que l'horizon calcique n'est pas caractéristique des gleysols). Il vaudrait peut-être mieux exclure la pigmentation d'un horizon carbonaté comme indicateur de la gleyification et baser plutôt la classification sur les propriétés des

horizons supérieurs et inférieurs. D'autre part, peut-être la présence d'un horizon carbonaté près de la surface indique-t-elle que les sols ont été formés dans des conditions de nappe phréatique élevée (présumément réductrices) et que la culture, la construction de routes, etc. ont entraîné une baisse des nappes phréatiques.

2. La présence de sols sableux très marbrés sur déclives (emplacement Long Plain). Bien que les marbrures situées sous l'horizon Ah étaient marquées, les saturations matricielles variaient de 2 à 3. Le fait d'insister sur des saturations matricielles de plus 2 accompagnées de marbrures marquées exclurait le sol de l'ordre gleysolique, mais des problèmes pourraient surgir ailleurs.

3. La présence de sols argileux à saturations de 1 à 2 et de marbrures rouilles à peine visibles sous l'horizon noir Ap (sols Rivière Rouge, Osborne). Les nappes phréatiques actuelles de ces sols ne sont pas situées près de la surface, mais pourraient avoir subi l'effet d'une inondation annuelle avant le rappuiement de la zone.

4. La présence de marbrures rouilles indicatrices de gleyification dans les sols qui semblent autrement «bien drainés». Par exemple, un sol situé sur la déclivité supérieure d'un till bosselé près de Carlyle (Sask.) présentait des marbrures brunes distinctes dans l'horizon Bm (10-18 cm), et l'horizon sous-jacent affichait quelques marbrures marquées. Il est possible que le sol ait été gleyifié par saturation du matériau supérieur situé au-dessus du sous-sol gelé au printemps (Michalyna, 1974). En effet, les phénomènes de gleyification sont très communs dans les horizons recouvrant le pergélisol dans les sols cryosoliques (Zoltai et Tarnocai, 1974).

Aux problèmes reliés aux sols venaient s'ajouter d'autres problèmes reliés à divers concepts. En voici quelques-uns:

1. Certains pédologues assimilent les sous-groupes gleyifiés à un drainage imparfait et à des sols gleysoliques mal ou très mal drainés. D'autres considèrent les classes de drainage comme indicatrices de l'état d'humidité relative; en réalité, la définition des sols gleysoliques repose sur l'évidence d'une réduction périodique prolongée pendant leur pédogenèse. Ainsi, une zone inondée chaque printemps, avant que des fossés de route n'assurent le drainage, pourrait ne devenir saturée que rarement. Les sols de la zone pourraient être gleysoliques (évidence de conditions réductrices), mais deviendraient modérément bien drainés bien qu'ils aient été mal drainés auparavant.

2. Jusqu'à un certain point, chaque observateur évalue la nature du sol et de l'emplacement, décide de la façon de classifier le sol et met ensuite l'accent sur les propriétés du sol qui cadrent bien avec sa décision tout en accordant peu d'attention à celles qui ne cadrent pas. Inutile de dire qu'il est essentiel de décrire objectivement les propriétés, mais peu y parviennent avec succès. Par exemple, certains pourraient observer des marbrures, et d'autres pas; certains lisent des saturations de 3, et d'autres notent des saturations de 1 ou 2.

3. Les pédologues qui travaillent dans une zone particulière ont fortement tendance à utiliser tout l'éventail des classes de sols disponibles pour souligner les différences dans le degré de gleyification ou d'autres caractéristiques. Ainsi, au niveau du sous-groupe, il n'existe que trois classes de gleyification pour caractériser tous les sols du Canada, soit les sous-groupes orthiques, les sous-groupes gleyifiés et les sols gleysoliques. Dans une localité donnée, même s'il peut y avoir des différences dans le degré de gleyification, tous les sols peuvent entrer dans une ou deux de ces classes. Les différences peuvent être indiquées comme des phases de sous-groupes ou au niveau de la série.

4. Quelques-unes des différences de concepts sont attribuables aux ambiguïtés de la classification (C.C.P., 1978) comme on l'a déjà dit.

5. Certains pédologues estiment que le premier concept de pédogenèse et de classification des sols d'une zone était «approprié» et que les épurations fondées sur d'autres données, l'augmentation des connaissances et une pondération additionnelle ne devraient pas altérer la première classification.

Les visites effectuées aux emplacements d'hydrologie des sols près de Deloraine et d'Hamiota ont été très convaincantes en ce sens qu'elles ont montré l'utilité d'avoir une impression subjective et des données objectives sur l'écoulement des eaux souterraines dans la zone où les sols sont étudiés (Eilers, 1973).

Excursion de classification et de corrélation des sols en Colombie-Britannique, du 19 au 21 août 1981

Les problèmes de classification des sols gleysoliques et des sous-groupes gleyifiés ont figuré parmi ceux étudiés par Tarnocai avec des pédologues de la Colombie-Britannique. Après avoir observé des sols de la vallée du bas Fraser, de l'île de Vancouver et de l'île Saltspring, et avoir examiné certains critères, le groupe en est venu à la conclusion suivante:

Deux conditions fondamentalement différentes se rencontrent dans les sols humides:

a) des conditions réductrices indiquées par des pigmentations matricielles de faible saturation (gris et gris verdâtre) généralement associées avec de l'eau stagnante; et (b) des conditions de marmorisation qui résultent de conditions réductrices et oxydantes en alternance et qui sont associées à une oscillation de la nappe phréatique, à une nappe périodiquement perchée ou à une saturation prolongée pendant de longues périodes de forte pluie.

Les critères suivants ont été mis à l'épreuve au cours de l'excursion et se sont avérés acceptables pour les sols gleysoliques et des sous-groupes gleyifiés d'autres ordres. Ces critères ont déjà été utilisés dans une certaine mesure pour classifier ces sols dans la zone de cartographie pédologique de Langley-Vancouver.

Sols gleysoliques - Les sols gleysoliques ont des caractéristiques qui révèlent une saturation d'eau prolongée entraînant la formation de conditions réductrices. Ces sols ont des pigmentations matricielles de faible saturation (les couleurs sont généralement de 5Y, 5GY, 5G, etc.) au nuancier Munsell dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale. Les horizons de ces sols sont désignés par le suffixe «g» (p. ex., Bg, Cg).

Sous-groupes gleyifiés - Les sous-groupes gleyifiés d'autres ordres ont des caractéristiques témoignant d'une oscillation de la nappe phréatique ou de conditions réductrices sous la ligne des 50 cm. Les fluctuations de la nappe phréatique entraînent la formation de marbrures. Les horizons associés à ces marbrures sont indiqués par l'addition du suffixe gj . Après examen de certains sols au cours de l'excursion, les critères suivants ont été élaborés: les sous-groupes gleyifiés affichent des marbrures distinctes ou marquées au-dessus de la barre des 50 cm, mais ne présentent pas de couleurs réduites (grises). La couche marbrée doit être plus épaisse que 10 cm et la moitié supérieure de cette couche doit être moins profonde que 50 cm. Si la marmorisation se rencontre en couches alternées, l'épaisseur totale doit être supérieure à 10 cm et au moins la moitié doit se situer au-dessus de 50 cm de profondeur. Ces sols peuvent présenter ou non des horizons réduits dans la coupe témoin. Advenant le cas, ces horizons doivent être plus profonds que 50 cm.

Certains participants ont souligné que des problèmes surgissaient lorsque ces critères étaient appliqués aux sols contenant du matériau d'origine foncé (p. ex., matériau dérivé de schistes) et aux sols contenant une forte teneur en carbonates libres. Puisque les pigmentations réduites et les marbrures sont difficiles à observer dans ces sols, on a suggéré de recourir à des données supplémentaires pour ces sols (comme la présence d'un horizon superficiel tourbeux, la position dans une dépression du paysage, la végétation et l'accumulation d'eau à long terme dans les dépressions). Dans certaines régions climatiques, la présence d'une couche superficielle tourbeuse témoigne d'une saturation.

Les conclusions du groupe de la Colombie-Britannique sont partiellement compatibles avec les suggestions émanant de l'excursion effectuée au Manitoba et en Saskatchewan. Par exemple, le fait de mettre l'accent sur les saturations matricielles faibles (il reste à décider jusqu'à quel point elles le sont) dans les 50 premiers centimètres de la surface des sols gleysoliques a été mentionné par les deux groupes. Les critères proposés par le groupe de la Colombie-Britannique (si des couleurs réduites supposent des saturations d'au plus 1) donneraient lieu toutefois à un déplacement considérable de la démarcation entre l'ordre gleysolique et le sous-groupe gleyifié en faveur des sols gleysoliques et entraînerait donc une reclassification comme sous-groupes gleyifiés de nombreux sols actuel-

lement désignés comme gleysoliques (p. ex., les sols affichant des horizons au-dessus de la barre des 50 cm et qui présentent des marbrures marquées avec une saturation matricielle de 2).

Échantillons carbonatés

Les échantillons de quelques horizons carbonatés envoyés par Michalyna ont été inondés pendant plusieurs mois et le potentiel électrique a été lu périodiquement. Les lectures n'ont pas descendu en bas de 350-400 mv et aucun fer réduit n'a été détecté dans l'eau. L'addition d'un demi-gramme de sucrose à certains des échantillons a causé une baisse rapide du potentiel électrique à -300 mv et a facilité la détection de fer réduit en solution. Les échantillons carbonatés réduits sont devenus de plus en plus verdâtres (5GY) bien qu'ils aient été gris (5Y 6/1) au début. Ces échantillons affichaient des teneurs très faibles en Fe extractible à la dithionite (0,1 % ou moins) et la plupart d'entre eux contenaient moins de 0,5 % de carbone organique. Le fait de les soumettre à plusieurs cycles d'oxydo-réduction n'a pas entraîné la formation de marbrures rouilles distinctes.

Ces premiers résultats cadrent généralement avec ceux de Michalyna (1974) travaillant sur des sols analogues. Il a trouvé que de faibles potentiels électriques ne se rencontraient pas dans des colonnes de sols Almassippi à moins que l'horizon Ap ne soit saturé. Il semble que le sol subsuperficiel ne fournisse pas de source d'énergie suffisante pour promouvoir la croissance microbienne et donc épuiser l'oxygène disponible. Du matériau de l'horizon Ah ou l'addition de sucrose fournit la source énergétique nécessaire. Pour sa part, McKeague (1965c) a mesuré de faibles potentiels électriques dans certains échantillons d'horizon B et C inondés maintenus à la température ambiante. Dans ce cas, les tubes contenant les échantillons ont été bouchés de sorte que la diffusion d'oxygène dans les échantillons serait très faible.

Échantillons de la Colombie-Britannique

Cinq pédons de sols gleysoliques ou de sous-groupes gleyifiés, dont quelques-uns ont été difficiles à classifier, ont été décrits et échantillonnés par la prospection pédologique de la Colombie-Britannique. Les échantillons ont été analysés dans le laboratoire de Kelowna et de coupes minces ont été préparées, décrites et analysées à Ottawa. On a recherché des critères améliorés pour établir la limite entre les sols gleysoliques et les sous-groupes gleyifiés. Une analyse des résultats révèle que quatre des cinq pédons ont été bien classifiés selon les pédologues de la Colombie-Britannique lorsque les critères de pigmentation spécifiques figurant à la page 69 de la Classification canadienne (C.C.P., 1978) étaient appliqués (McKeague et al. 1985). L'autre pédon, classifié comme faisant partie de la série Bates, a définitivement satisfait les critères de pigmentation prescrits pour l'ordre gleysolique bien que la nappe phréatique soit rarement située maintenant dans les 100 premiers centimètres de la surface. Avant le drainage, cette nappe était probablement située à (ou près de) la surface pendant des périodes de temps prolongées. Le pédon est donc bien classifié comme gleysolique car durant la majeure partie de cette période de pédogenèse, il était présumément soumis à des conditions réductrices pendant une partie de chaque année. Le drainage a

entraîné un abaissement de la nappe et le sol n'est plus mal drainé. Les données chimiques et micromorphologiques n'ont pas fourni de bases améliorées pour différencier les sols gleysoliques des sous-groupes gleyifiés d'autres ordres (McKeague et al. 1985).

PROJETS ÉLABORÉS EN 1984

D'après les observations et les discussions résultant des excursions de terrain, des notes de corrélateurs et de la correspondance de pédologues de plusieurs régions, nous avons proposé des modifications aux critères de classification des sols gleysoliques à des fins d'essai dans toutes les régions. Les projets, les résultats de leurs essais dans plusieurs régions et les modifications acceptées à la réunion du C.E.P.P. à Guelph en novembre 1984 figurent en détail dans le procès-verbal (Shields et Kroetsch eds. 1985). Les principales modifications et certains concepts apparentés sont résumés ici.

Concepts en cause

1. Les critères applicables à l'ordre gleysolique ou à toute autre classe au niveau de l'ordre devraient être compatibles avec le concept de l'ordre. Dans la Classification canadienne (C.C.P., 1978), les taxons au niveau de l'ordre s'appuient sur les propriétés du pédon qui rendent compte de la nature de l'environnement pédologique et des effets du principal processus de pédogenèse . Dans le cas des sols gleysoliques, le milieu pédologique est saturé d'eau pendant une bonne partie de la pédogenèse et soumis à des conditions réductrices pendant des laps de temps considérables la plupart des années. Le principal processus de pédogenèse est la gleyification attribuable à une réduction ou à une oxydo-réduction intermittente dans les 50 premiers centimètres de la surface, et les propriétés qui en rendent compte sont les couleurs du gley avec ou sans marbrures.

Les sols gleysoliques sont ceux dans lesquels l'empreinte des cycles de réduction ou d'oxydo-réduction dominent la manifestation de conditions d'oxydation permanente. Beaucoup de sols gleysoliques sont mal ou très mal drainés, d'autres sont imparfaitement drainés et d'autres, dans lesquels le drainage a été sensiblement amélioré, sont maintenant bien drainés. Les critères de classification des sols gleysoliques doivent s'appuyer sur les propriétés du sol qui témoignent d'une réduction au cours de la pédogenèse du sol, et pas sur le régime hydrique actuel du sol. Une étape importante vers l'amélioration de la classification des sols gleysoliques serait l'acceptation du concept voulant qu'il n'existe pas de corrélation parfaite entre la classe de drainage ou le régime hydrique actuel du sol et sa taxonomie.

Prenons par exemple des sols argileux sur terrain plat dans certaines parties des basses terres du Saint-Laurent dans le sud de l'Ontario et du Québec. De grandes superficies de ce type de sol ont été sans doute soumises à des conditions réductrices à leur état naturel et bon nombre affichent encore la preuve de ces conditions, c'est-à-dire de faibles saturations et des marbrures marquées près de la surface. Une partie de ces sols ont été drainés et cultivés depuis plus d'un siècle, d'autres plus récemment. Supposons qu'un champ bien drainé de ce genre de sol n'ait pas

été saturé jusqu'à la surface pendant plus de quelques heures au cours des 50 dernières années et que les conditions réductrices ne se soient pas manifestées dans les 100 premiers centimètres de la surface pendant cette période. Le sol pourrait être désigné comme imparfaitement drainé, peut-être même modérément bien drainé. Mais il persiste des marbrures marquées situées immédiatement sous l'horizon Ap. Les saturations matricielles sont de 2 dans l'horizon B supérieur et peut-être de 1 à 2 à une profondeur de 1 m.

Compte tenu du fait que notre système de classification est basé sur des propriétés qui tiennent compte de la pédogenèse, n'est-il pas souhaitable de classifier les sols comme gleysoliques (peut-être gleysols humiques) imparfaitement ou bien drainés (ou de préférence de donner les classes SWIG appropriées) que d'insister sur le fait que la classe de drainage et la taxonomie sont «compatibles» et de les classifier comme sous-groupes gleyifiés d'autres ordres, peut-être comme un brunisol mélanique gleyifié? De nombreux sols des basses terres du Saint-Laurent ont été probablement inondés périodiquement et soumis à des conditions réductrices pendant des dizaines de milliers d'années de sorte qu'ils portent encore les marques de leur pédogenèse. Avec le temps, si les tuyaux de drainage continuent de fonctionner, ces sols peuvent perdre leurs caractéristiques de gley et se classer dans un autre ordre. Dans l'intervalle, la désignation de Gleysol humique imparfaitement drainé donne beaucoup d'information sur le sol en question.

2. Dans les cas où deux ou plusieurs «processus de pédogenèse apparemment dominants» ont laissé leurs marques sur le sol, il est essentiel de décider d'un ordre de priorité. La «clé des ordres de sols» (C.C.P., 1978) peut aider à prendre une décision en la matière. Aucune modification n'est proposée à l'ordre déjà établi. Par conséquent, les processus illustrés par la présence d'un pergélisol près de la surface, par l'accumulation de matériaux organiques d'une épaisseur donnée et par des processus podzoliques donnant naissance à des sols qui satisfont les normes de l'ordre podzolique ont priorité sur la manifestation de processus gleysoliques. En revanche, la preuve manifeste de l'existence de processus gleysoliques a priorité sur des processus donnant lieu à la formation d'horizons B solonetziques, A chernozémiques, Bt, Bm ou à une faible indication de pédogenèse comme dans les sols régosoliques.

3. Les critères de classification s'appuient sur des propriétés pédologiques observables ou mesurables, pas sur la végétation, l'orientation de la pente ni d'autres propriétés non pédologiques communément apparentées aux propriétés pédologiques (C.C.P., 1978). Les rapports entre ces propriétés associées et le niveau d'expression des caractéristiques du gley facilitent la cartographie. Ils diffèrent d'une région à l'autre et selon les matériaux du sol. L'élucidation des rapports entre les propriétés observables non pédologiques et les propriétés pédologiques clés dans une zone donnée constitue du travail de première importance. Toutefois, les pédons doivent être classifiés selon leurs propriétés plutôt que selon des propriétés déduites ou selon la pédogenèse déduite de l'observation de caractéristiques comme la position dans le paysage et la végétation.

4. Les critères de classification de l'ordre gleysolique, ou de tout autre ordre, devraient être logiques des points de vue pratique et génétique pour les sols de diverses successions d'horizons, les divers matériaux d'origine, les différentes régions climatiques, etc. S'ils ne sont pas logiques de l'avis collectif de pédologues canadiens, des critères améliorés devraient être recherchés, testés et mis en place, le cas échéant. Tant et aussi longtemps que ces critères ne seront pas élaborés, les pédons seront classifiés selon les critères couramment acceptés, et pas en fonction de caractéristiques du paysage, de la végétation, de l'impression personnelle ou des partis pris locaux. Si les critères débouchent sur une classification apparemment illogique des pédons, les faits sont enregistrés et utilisés dans la formulation de limites ou de critères améliorés aux fins d'essai.

Projets acceptés de modification

Ces projets, comprenant des idées et opinions de pédologues de plusieurs provinces, visent à épurer le système actuel. Nous n'avons pas élaboré de nouvelles bases de distinction entre les sols gleysoliques et les sous-groupes gleyifiés. Malgré les problèmes inhérents à son utilisation, la couleur reste encore le meilleur indicateur simple de l'état d'oxydo-réduction à long terme des sols. La mesure du potentiel rédox et l'utilisation de colorants qui réagissent avec le Fe^{+2} (Childs, 1981) sont utiles à certains égards, mais elles n'indiquent pas de processus d'oxydo-réduction dominant au cours de la pédogenèse.

1. Distinction entre le Luvisol gris gleyifié et le gleysol luvique

Actuellement, un sol qui présente un horizon Bt et des saturations faibles accompagnées de marbrures marquées (voir p. 70, C.C.P., 1978 pour en savoir davantage sur les couleurs) dans les 50 premiers centimètres de la surface est un gleysol luvique. Mais certains sols possédant des horizons Bt bruns non marbrés (saturation de 3 ou 4) possèdent des horizons Aeg avec des saturations de 1 et des marbrures brun rougeâtre marquées.

Selon les règles, ces sols sont des gleysols luviques, mais devraient probablement être des luvisols gris gleyifiés (oxydation dominante). La modification nécessaire se traduit par des critères applicables aux gleysols luviques, semblables à ceux qui s'appliquent aux Aqualfs (Soil Survey Staff, 1975). Les particularités des modifications sont énoncées aux fins d'essai plus loin dans le présent rapport.

2. Particularités des critères de pigmentation

Comme on l'a déjà dit, la Classification canadienne (C.C.P., 1978) reste ambiguë sur les critères de pigmentation des sols gleysoliques. La modification nécessaire doit préciser s'il s'agit de très faibles saturations ou de saturations relativement faibles, selon la teinte, accompagnées de marbrures marquées dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale. Les critères particuliers de pigmentation, sauf pour les sols formés dans des matériaux rouges, sont:

saturations d'au plus 1 sans marbrures ou teintes plus bleues que 10Y, ou saturations d'au plus 2 dans des teintes de 10YR ou plus rouges avec marbrures marquées, ou saturations d'au plus 3 dans des teintes plus jaunes que 10YR avec marbrures marquées. Pour être caractéristiques, les marbrures marquées doivent occuper au moins 2 % d'un horizon d'au moins 10 cm d'épaisseur et sa limite supérieure doit se situer dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale.

3. Critères de pigmentation applicables aux sols formés dans des matériaux rouges

Les sols formés dans des matériaux rouges (5YR ou plus rouges et la pigmentation ne pâlit pas rapidement au traitement à la dithionite) peuvent ne pas avoir de sous-sols de faibles saturations même s'ils sont soumis à des conditions réductrices pendant des laps de temps prolongés. Dans ce type de sol, les critères de pigmentation suivants dans les 50 premiers centimètres sont caractéristiques des sols gleysoliques:

a. Marbrures communes ou nombreuses, distinctes ou marquées de fortes saturations dans un horizon d'au moins 10 cm d'épaisseur dont la limite supérieure se situe dans les 50 premiers centimètres de la surface.

b. Marbrures communes ou nombreuses, marquées de faibles saturations dans un horizon situé dans les 50 premiers centimètres de la surface.

La présence de stries grises associées à des matériaux de couleur ocre le long de fissures dans des fragipans n'est pas caractéristique de sols gleysoliques.

4. Addition de sous-groupes solonetziques à l'ordre gleysolique

Ces sous-groupes seraient parallèles aux sous-groupes luvisoliques des podzols ferro-humiques et humo-ferriques. Ils permettraient d'identifier les sols qui satisfont les critères des sols solonetziques, sauf qu'ils respectent également les limites des sols gleysoliques. Il faudrait prendre une décision concernant l'ordre de priorité des sous-groupes. Provisoirement, nous suggérons que le sous-groupe solonetzique ait priorité sur régo, féra et luvique. Ainsi, un sol gleysolique possédant un horizon Bng ou Bntg serait un sous-groupe solonetzique appartenant au grand groupe approprié.

5. Saturation des horizons Ae et Ah

Des saturations de 1 se rencontrent dans les horizons Ae et Ah de certains pédons oxydés classifiés comme chernozémiques, luvisoliques, podzoliques, solonetziques, etc. En appliquant rigoureusement les critères actuels, on risquerait de faire fausse route en classant ces pédons parmi les pédons gleysoliques. Il est donc proposé que les saturations des horizons Ah et Ae ne soient pas caractéristiques de

sols gleysoliques. Dans le cas d'horizons Ah ou Ae exceptionnellement épais, un certain rajustement pourrait s'avérer nécessaire.

6. Marbrures de faible saturation

La présence de marbrures à saturation d'au plus 2 est caractéristique de certains sous-groupes aquiques dans la Soil Taxonomy. Nous n'avons pas accordé beaucoup d'attention aux marbrures de faible saturation, sauf pour les sols rougeâtres. Il est donc proposé que la présence de marbrures communes ou nombreuses, distinctes ou marquées, de faible saturation, situées dans des horizons de couleur généralement oxydée dans les 100 premiers centimètres de la surface soit caractéristique de sous-groupes gleyifiés. On fait une exception pour les sols rougeâtres dans lesquels la présence de marbrures marquées de faible saturation à certaines profondeurs est caractéristique de sols gleysoliques.

7. Sols gleysoliques côtiers

Certains sols gleysoliques qui se retrouvent dans des sédiments côtiers possèdent des horizons noirs (N2/) qui tournent au gris (5Y 6/1) à l'oxydation. On a déjà mentionné qu'il faut créer une nouvelle classe pour ces sols. Il faudrait donc que cette caractéristique soit reconnue au niveau de la série.

Autres projets

Certains des projets de modification des critères de l'ordre gleysolique ont été, soit rejetés, soit désignés à des fins d'étude ultérieure. En voici la liste:

1. Sols possédant des horizons A chernozémiques et des horizons enrichis de carbonate secondaire (ca) dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale.

Les saturations de ces horizons ca sont couramment de 1 de sorte qu'elles satisfont les critères de couleur des sols gleysoliques à moins de faire une exception. Le projet de classifier ces sols comme des gleysols humiques, compatibles avec certains Aquolls dans la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), a été mis de côté pour fins d'étude ultérieure, surtout au Manitoba.

2. Distinction entre les gleysols humiques et les gleysols

Actuellement, l'horizon Ah ou Ap d'un gleysol humique doit contenir plus de 2 % de C organique, a une luminosité de couleur de l'échantillon frotté d'au plus 3,5 (état humide) ou d'au plus 5 (état sec) et a une luminosité plus faible que celle de l'horizon sous-jacent. Ces critères ont posé des problèmes. En effet, certains horizons Ap contenant beaucoup plus que 2 % de C organique ont des luminosités (état humide) de plus de 3,5. Aussi, certains horizons Ah ou Ap pas plus foncés que le matériau sous-jacent contiennent beaucoup plus que 2 % de C organique. La solution proposée consiste à restreindre le critère caractéristique d'un gleysol humique aux

éléments suivants: les gleysols humiques n'ont pas d'horizon Bt; ils ont, soit un horizon Ah d'au moins 10 cm d'épaisseur, soit un horizon Ap d'au moins 15 cm d'épaisseur avec plus de 2 % de C organique. (Les mêmes critères applicables à l'horizon A s'appliqueraient aux gleysols luviques humiques.) La pigmentation et d'autres propriétés morphologiques serviraient à aider les pédologues à faire des estimations de la teneur en C organique sur le terrain. Le problème a été reconnu, mais on n'a pu se mettre d'accord.

CHAPITRE SUR L'ORDRE GLEYSOLIQUE RÉVISÉ

L'exposé des concepts et les modifications secondaires apportées aux critères dont il est fait état dans la section précédente du présent rapport nécessitent le remaniement du chapitre sur l'ordre gleysolique de la Classification canadienne (C.C.P., 1978). La présente section est une première version de ce chapitre révisé. Elle devrait être commentée en détail pour sa clarté et sa teneur, et mise à l'essai dans la classification de sols de toutes les régions du Canada avant de la réviser de nouveau et éventuellement de l'inclure dans une publication révisée de la Classification canadienne. La version qui suit se veut complète, mais ne comprend pas de photos ni de diagrammes de profils de sols gleysoliques.

ORDRE GLEYSOLIQUE

Grand groupe	Sous-groupe
Gleysol luvique	Gleysol luvique solonetzique
	Gleysol luvique fragique
	Gleysol luvique humique
	Gleysol luvique ferrique
	Gleysol luvique orthique
Gleysol humique	Gleysol humique solonetzique
	Gleysol humique ferrique
	Gleysol humique orthique
	Gleysol humique régo
Gleysol	Gleysol solonetzique
	Gleysol ferrique
	Gleysol orthique
	Gleysol régo

Nota: Les grands groupes et les sous-groupes sont classés dans l'ordre auquel ils appartiennent. Par exemple, si un sol gleysolique possède un horizon Btg, c'est un gleysol luvique, qu'il ait ou non les éléments suivants, à savoir Ah, Bn, Bgf, fragipan. Le gleysol luvique est le premier grand groupe classifié. De même, au niveau du sous-groupe, si un gleysol luvique possède un horizon B solonetzique, c'est un gleysol luvique solonetzique, qu'il ait ou non les éléments suivants, à savoir fragipan, Ah, Bgf. En résumé, toute classe au niveau du grand groupe ou du sous-groupe tel qu'elle apparaît sur la liste ne possède pas les propriétés diagnostiques des classes énumérées au-dessus d'elle. Par exemple, un gleysol régo ne possède pas les éléments suivants, à savoir un horizon B défini pour le

gleysol orthique, un horizon Bgf, un horizon B solonetzique.

Les sols gleysoliques se définissent d'après les couleurs et la marmorisation considérées comme indicatrices de l'influence de conditions de réduction périodique ou soutenue au cours de la pédogenèse. Les critères qui suivent s'appliquent à tous les horizons, sauf les horizons Ah ou Ap, et les horizons Ae. Si l'horizon Ae est plus épais que 20 cm et si sa limite inférieure est située à plus de 60 cm sous la surface du sol minéral, les critères s'appliqueront à l'horizon Ae. De même, si l'horizon Ah ou Ap dépasse 50 cm, les critères de couleur s'appliquent à l'horizon minéral situé immédiatement en dessous. Mises à part ces exceptions, les critères se lisent comme suit: les sols gleysoliques ont, dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale, la limite supérieure d'un horizon ou d'un sous-horizon d'au moins 10 cm d'épaisseur dont les couleurs à l'état humide sont les suivantes:

1. Pour tous les sols, sauf les matériaux rouges (teinte de 5YR ou plus rouge et dont la couleur pâlit lentement au traitement à la dithionite).
   a. Des saturations dominantes d'au plus 1 ou des teintes plus bleues que 10Y avec ou sans marbrures, ou
   b. Des saturations dominantes d'au plus 2 dans des teintes de 10YR et 7,5YR accompagnées de marbrures marquées d'un diamètre de 1 mm ou plus et occupant au moins 2 % de la couche de 10 cm exposée, non dérangée artificiellement, ou
   c. Des saturations dominantes d'au plus 3 dans des teintes plus jaunes que 10 YR accompagnées de marbrures marquées d'un diamètre de 1 mm ou plus et occupant au moins 2 % de la couche de 10 cm exposée, non dérangée artificiellement.

2. Pour les matériaux de sols rouges (teintes de 5YR ou plus rouges et dont la couleur pâlit lentement au traitement à la dithionite).
   a. Des marbrures distinctes ou marquées de saturation élevée d'au moins 1 mm de diamètre occupant au moins 2 % de la couche de 10 cm exposée, non dérangée artificiellement, ou
   b. Des marbrures distinctes ou marquées de faible saturation d'au moins 1 mm de diamètre occupant au moins 2 % de la couche de 10 cm exposée, non dérangée artificiellement.

Les sols de l'ordre gleysolique ont des propriétés qui indiquent l'influence de périodes prolongées de saturation d'eau intermittente ou continue et de conditions réductrices au cours de la pédogenèse. La saturation d'eau peut-être due, soit à une nappe phréatique élevée, soit à l'accumulation temporaire d'eau au-dessus d'une couche relativement imperméable, ou aux deux. Les sols peuvent être saturés périodiquement d'eau aérée ou pendant de longues périodes de temps froid qui restreignent l'activité biologique sans développer des propriétés associées aux conditions réductrices. Ces sols ne sont pas classifiés comme gleysoliques.

Les sols gleysoliques sont associés à un certain nombre de régimes hydriques différents qui peuvent changer au cours de la pédogenèse du sol. Couramment, ils affichent des régimes peraquiques ou aquiques, mais certains ont des régimes aqueux et d'autres sont maintenant rarement, pour

ainsi dire jamais, saturés d'eau. Les derniers sols avaient présumément des régimes aquiques et étaient soumis à des conditions réductrices dans le passé, mais le drainage, le relèvement isostatique ou d'autres facteurs ont entraîné le changement des régimes hydriques.

Les sols gleysoliques se rencontrent en association avec d'autres sols, dans certains cas comme les sols dominants, dans d'autres comme une composante secondaire. Dans les régions caractérisées par un climat subhumide, les sols gleysoliques se rencontrent couramment dans des dépressions peu profondes et sur des terres basses plates saturées d'eau tous les printemps. Dans les régions plus humides, ils peuvent se rencontrer également sur déclives et sur terrain ondulé. Habituellement, la végétation naturelle associée aux sols gleysoliques diffère de celle associée aux sols d'autres ordres.

Voici quelques observations sur la justification des critères de couleur. Les critères s'appuient sur la couleur car la pigmentation est l'indicateur le plus facilement observable et le plus utile qu'on connaisse de l'état d'oxydo-réduction d'un sol au cours de sa pédogenèse. La couleur comme telle n'est pas considérée comme importante, mais elle en dit beaucoup sur les processus en cause dans la formation du sol composé de nombreux matériaux. Les potentiels rédox mesurés à plusieurs profondeurs dans les pédons pendant la période au cours de laquelle le sol n'est pas gelé fournit des données utiles sur les conditions actuelles d'oxydo--réduction. Des valeurs du potentiel électrique de 100 mv ou moins sont associées à des formes réduites de Mn et de Fe. Ces valeurs n'indiquent toutefois que les conditions d'oxydo-réduction actuelles, pas celles qui existaient au cours des longues périodes pendant lesquelles le sol s'est formé. De même, la surveillance des propriétés du régime hydrique comme la profondeur à la nappe phréatique peut fournir de précieuses données sur l'état actuel du sol, mais elle n'explique pas nécessairement le régime hydrique qui existait au cours de la pédogenèse.

On utilise différents critères de couleur pour les matériaux de sols rouges car on a constaté que même l'existence de conditions de saturation prolongée et, présumément réductrices, n'a pas entraîné la formation de couleurs gris terne dans ces matériaux. En règle générale toutefois, ces sols sont marbrés dans les horizons situés près de la surface. Dans certains cas, il existe des marbrures grises dans une matrice rougeâtre, dans d'autres, il existe des marbrures d'un brun intense ou d'un rouge jaunâtre dans une matrice de faible saturation. La couleur dominante est considérée comme la pigmentation de la matrice.

Il a fallu faire des exceptions dans l'application des critères aux sols possédant des horizons Ah, Ap ou Ae car des saturations de 1 se rencontrent dans certains de ces horizons de sols oxydés. En outre, des marbrures marquées peuvent apparaître dans les horizons Ae recouvrant des horizons relativement imperméables de sols généralement oxydés. Mais dans le cas d'horizons Ae épais, la présence de marbrures marquées dans la partie supérieure de l'horizon est censée indiquer l'existence de conditions réductrices périodiques près de la surface. Ces exceptions n'ont pas été vérifiées et nécessiteront probablement un certain rajustement.

Les critères de couleur prescrivent une taille et une abondance minimales de marbrures dans un sous-horizon de 10 cm d'épaisseur ou plus car il semble déraisonnable de fonder la classification au niveau de l'ordre sur la fréquence d'apparition de marbrures infiniment petites ou rares dans une couche mince. Il faut donc prendre soin d'estimer l'abondance des marbrures; en effet, le frottement de matériaux ferrugineux sur le profil peut entraîner des surestimations et le fait de ne pas rechercher de marbrures intrapédales et extrapédales peut aboutir à des sous-estimations. L'utilisation de diagrammes des marbrures facilite l'estimation de leur abondance. Les limites minimales prescrites représentent une coupure arbitraire dans la succession des niveaux de gleyification des sols. D'autres données sur les propriétés pédologiques de diverses régions nécessiteront probablement une mise au point supplémentaire.

Dans une région particulière caractérisée par un matériau pédologique donné, il sera probablement possible de relier une certaine combinaison de la position dans le paysage, de la végétation, de la surface tourbeuse ou d'autres caractéristiques facilement observables à la fréquence des propriétés définies comme caractéristiques des sols gleysoliques. Ces rapports différeront toutefois d'une région à l'autre. Comme l'a déclaré Ellis (1932) il y a plusieurs années, en dernière analyse, la classification des sols doit s'appuyer sur les propriétés du sol comme tel.

Différenciation entre les sols gleysoliques et des sols d'autres ordres

Les directives concernant la distinction entre les sols gleysoliques et des sols d'autres ordres avec lesquels ils pourraient être confondus figurent ci-dessous.

Chernozémiques. Certains sols possèdent un horizon A chernozémique et affichent des couleurs ternes ou des marbrures indicatrices d'une gleyification dans la coupe témoin. Ceux qui satisfont les exigences prescrites pour les sols gleysoliques sont classifiées dans l'ordre gleysolique. Ceux qui présentent des caractéristiques de gley dans les 50 premiers centimètres, mais qui ne peuvent satisfaire les critères de l'ordre gleysolique, ou qui ont des couleurs de faible saturation, des marbrures ou les deux, situées sous la barre des 50 cm, sont classifiés comme des sous-groupes gleyifiés des grands-groupes appropriés de sols chernozémiques.

Solonetziques. Les sols qui possèdent un horizon Bn ou Bnt et qui témoignent d'une gleyification telle que stipulée pour les sols gleysoliques sont classifiés comme les sous-groupes solonetziques des grands groupes appropriés de l'ordre gleysolique.

Luvisoliques. Certains sols ont des horizons éluviaux, des horizons Bt et des couleurs indicatrices d'une gleyification dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale. Ces sols sont classifiés comme des gleysols luviques si les couleurs de gley comme le prescrit l'ordre gleysolique se rencontrent dans l'horizon Btg dans les 50 premiers centimètres de la surface minérale. Si ces couleurs de gley se rencontrent, soit seulement dans l'horizon Aeg, à l'exception des horizons Ae épais, soit seulement plus bas que 50 cm, le sol est classifié comme un sous-groupe gleyifié du grand groupe approprié de l'ordre luvisolique.

Podzoliques. Les sols possédant un horizon B podzolique et qui témoignent d'une gleyification satisfaisant les caractéristiques des sols gleysoliques sont classifiés comme podzoliques.

Brunisoliques. Les sous-groupes gleyifiés de sols brunisoliques sont différenciés des sols gleysoliques d'après l'évidence d'une gleyification trop faiblement exprimée pour satisfaire les caractéristiques des sols gleysoliques.

Régosoliques. Les sols sans horizons différenciés, mise à part l'évidence d'une gleyification prescrite pour les sols gleysoliques, sont classifiés comme gleysoliques.

Organiques. Les sols gleysoliques peuvent avoir des couches superficielles organiques, mais elles sont trop minces pour respecter les limites minimales prescrites pour les sols de l'ordre organique.

Cryosoliques. Certains sols cryosoliques ont des couleurs matricielles de faible saturation et des marbrures marquées dans les 50 premiers centimètres de la surface comme les sols gleysoliques. Toutefois, les sols gleysoliques ne possèdent pas de pergélisol dans les 100 premiers centimètres de la surface, ou 200 premiers centimètres si le sol est fortement cryoturbé.

Les sols gleysoliques se divisent en trois grands groupes, à savoir le gleysol luvique, le gleysol humique et le gleysol qui sont séparés d'après la formation de l'horizon Ah et la présence ou l'absence d'un horizon Bt comme le montre le tableau suivant.

Ordre gleysolique

Gleysol luvique	Gleysol humique	Gleysol
Un horizon Btg Généralement un horizon Ahe ou un horizon Aeg	Un horizon Ah d'au moins 10 cm d'épaisseur Aucun horizon Bt	Aucun horizon Ah ou un horizon Ah d'une épaisseur <10 cm Aucun horizon Bt

GLEYSOL LUVIQUE

Les sols de ce grand groupe possèdent les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et un horizon d'argile accumulé. Ils sont semblables aux sols luvisoliques, sauf qu'ils montrent des couleurs ternes ou des marbrures marquées, ou les deux, indicatrices d'une forte gleyification. Ils peuvent avoir des horizons superficiels organiques et un horizon Ah. Les gleysols luviques se rencontrent communément dans les emplacements mal drainés en association avec des sols luvisoliques et dans des dépressions dans les zones de sols chernozémiques noirs et gris foncés.

Les gleysols luviques possèdent généralement un horizon éluvial (Ahe, Aeg) et un horizon Btg. Ce dernier se définit en fonction d'un accroissement de la teneur en argile silicatée par rapport à celle de l'horizon A,

la présence de pellicules argileuses témoignant d'une argile éluviale, et la présence de couleurs et de marbrures particulières à l'ordre gleysolique indiquant l'existence d'une réduction permanente ou périodique. Les gleysols luviques peuvent avoir un horizon superficiel organique et un horizon Ah. Dans certains cas, l'horizon A est très foncé (luminosité de 2) à l'état humide, mais ses caractéristiques éluviales sont généralement évidentes au séchage. Ces horizons présentent habituellement des stries grises plus foncées et plus claires, et les taches semblables à celles des horizons Ahe des sols chernozémiques gris foncé. Même si l'horizon éluvial est de couleur foncée, l'horizon Btg est caractéristique d'un gleysol luvique.

Le grand groupe se subdivise en cinq sous-groupes d'après le genre et la succession des horizons.

GLEYSOL LUVIQUE SOLONETZIQUE

Succession courante des horizons: LFH ou O, Ah, Aeg, Bntg, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et le grand groupe des gleysols luviques. Ils ont en outre un horizon B solonetzique. Ils peuvent avoir des horizons Ah ou Ap particuliers aux gleysols luviques humiques. Ces sols sont couramment associés à un matériau d'origine salin.

GLEYSOL LUVIQUE FRAGIQUE

Succession courante des horizons: LFH ou O, Ah, Aeg, Btgx, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols luviques. Ils ont en outre un fragipan situé dans (ou sous) l'horizon Btg. Ils peuvent également présenter un horizon Ah ou Ap de couleur foncée particulier aux gleysols luviques humiques, un horizon Bgf ou Btgf particulier aux gleysols luviques féra. Ils n'ont pas d'horizon B solonetzique; ces horizons ne se rencontrent pas en association avec un fragipan.

GLEYSOL LUVIQUE HUMIQUE

Succession courante des horizons: LFH ou O, Ah, Aeg, Btg, Cg

Ces sols présentent les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols luviques. Ils ont en outre un horizon superficiel organo-minéral qui satisfait les exigences de l'horizon Ah ou Ap des gleysols humiques. Ainsi, l'horizon Ah doit être d'au moins 10 cm d'épaisseur et l'horizon Ap doit être d'au moins 15 cm d'épaisseur, contenir au moins 2 % de C organique et être plus foncé que l'horizon sous-jacent. Les gleysols luviques humiques n'ont pas d'horizon B solonetzique ni de fragipan, mais ils peuvent avoir un horizon Bgf.

GLEYSOL LUVIQUE FERRIQUE

Succession courante des horizons: LFH, ou O, Ah, Aeg, Bgf, Btg, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols luviques. Ils ont en outre, soit un horizon Bgf d'au moins 10 cm d'épaisseur en plus d'un horizon Btg, soit un horizon Btgf. L'horizon Bgf ou Btgf contient une accumulation d'oxyde de fer hydraté (extractible à la dithionite) qu'on croit avoir été déposé par suite de l'oxydation du fer ferreux. Il présente généralement une saturation élevée et une forte concentration de marbrures rouilles. Les gleysols luviques ferrique n'ont pas les éléments suivants: un horizon Ah ou Ap caractéristique des gleysols luviques humiques, un horizon B solonetzique et un fragipan.

GLEYSOL LUVIQUE ORTHIQUE

Succession courante des horizons: LFH ou O, Aeg, Btg, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols luviques. Typiquement, ils possèdent des horizons superficiels organo-minéraux recouvrant des horizons éluviaux gleyifiés, et un horizon Btg.

Les gleysols luviques orthiques sont identifiés par les propriétés suivantes:

1. Ils possèdent un horizon éluvial: Ahe, Ae, Aeg.
2. Ils possèdent un horizon Btg.
3. Ils n'ont pas d'horizon Ah ou Ap défini pour les gleysols humiques et les gleysols luviques humiques.
4. Ils n'ont pas d'horizon B solonetzique, de fragipan ni d'horizon Bgf d'au moins 10 cm d'épaisseur.

GLEYSOL HUMIQUE

Les sols de ce grand groupe présentent un horizon A de couleur foncée en plus des propriétés générales des sols de l'ordre gleysolique. Ils se rencontrent couramment dans les endroits mal drainés en association avec certains sols chernozémiques, luvisoliques, podzoliques et brunisoliques. Ils peuvent posséder des horizons superficiels organiques dérivés de graminées, de carex, de mousse ou de végétation forestière.

Les gleysols humiques n'ont pas d'horizon Bt et ont, soit un horizon Ah d'au moins 10 cm d'épaisseur, soit un horizon superficiel mélangé (Ap) d'au moins 15 cm d'épaisseur avec toutes les propriétés suivantes:

1. Plus de 2 % de C organique.
2. Une luminosité de couleur de l'échantillon frotté de 3,5 ou moins (état humide), ou de 5,0 ou moins (état sec).
3. Au moins 1,5 unité de luminosité de couleur (état humide) de moins que celle de l'horizon sous-jacent suivant si la luminosité (état humide) de cet horizon est de 4 ou plus, ou 1 unité de luminosité de moins que celle de l'horizon sous-jacent si sa luminosité est inférieure à 4.

Voici des exemples de luminosité de couleur de gleysols humiques cultivés:

	Exemple 1	Exemple 2
Luminosité de la couleur de l'horizon Ap humide	3,5 ou moins	2,0 ou moins
Luminosité de la couleur de l'horizon sous-jacent humide	5,0 ou plus	3,0 ou plus

Le grand groupe est subdivisé en quatre sous-groupes d'après le genre et la succession des horizons. Les anciennes caractéristiques de sous-groupes turbique, placique, salin, carbonaté, cryique et lithique sont maintenant reconnus dans la taxonomie au niveau de la famille ou de la série. Ils peuvent également être indiqués comme des phases de sous-groupes, de grands groupes ou d'ordres.

GLEYSOL HUMIQUE SOLONETZIQUE

Succession courante des horizons: Ah, Bng, Cgsk

Ces sols affichent les propriétés particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols humiques. Ils ont en outre un horizon B solonetzique et peuvent avoir un horizon Bgf. Typiquement, ils possèdent un matériau d'origine salin.

GLEYSOL HUMIQUE FERRIQUE

Succession typique des horizons: LFH ou O, Ah, Aeg, Bgf, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols humiques. Ils ont en outre un horizon Bgf d'au moins 10 cm d'épaisseur, mais n'ont pas d'horizon B solonetzique. L'horizon Bgf contient une accumulation d'oxyde de fer hydraté (extractible à la dithionite) qu'on pense avoir été déposé par l'oxydation du fer ferreux. En règle générale, l'horizon Bgf présente de nombreuses marbrures marquées de fortes saturations.

GLEYSOL HUMIQUE ORTHIQUE

Succession courante des horizons: LFH ou O, Ah, Bg, Cg ou C

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols humiques. Typiquement, ils ont un horizon Ah bien développé recouvrant des horizons B et C gleyifiés. Ils peuvent avoir des horizons superficiels organiques, un horizon éluvial et un horizon C qui ne présente pas de couleurs ternes ni de marbrures indicatrices de la gleyification.

Les gleysols humiques orthiques s'identifient par les propriétés suivantes:

1. Ils possèdent un horizon Ah d'au moins 10 cm d'épaisseur défini pour le grand groupe.
2. Ils possèdent un horizon B, Bg ou Bgtj d'au moins 10 cm d'épaisseur.
3. Ils n'ont pas les éléments suivants: un horizon Btg, un horizon B solonetzique ou un horizon Bgf d'au moins 10 cm d'épaisseur.

GLEYSOL HUMIQUE RÉGO

Succession courante des horizons: LFH ou O, Ah, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols humiques. Ils diffèrent des gleysols humiques orthiques par l'absence d'un horizon B d'au moins 10 cm d'épaisseur. Typiquement, ils ont un horizon Ah bien développé recouvrant un horizon C gleyifié.

GLEYSOL

Les sols de ce grand groupe ont les propriétés générales particulières aux sols de l'ordre gleysolique, mais n'ont pas d'horizon superficiel organo-minéral bien développé. Ils se rencontrent couramment dans les endroits mal drainés en association avec des sols de plusieurs autres ordres.

Les gleysols n'ont pas d'horizon Ah ou Ap particulier aux gleysols humiques, ni d'horizon Bt. Ils peuvent avoir, soit un horizon Ah plus mince que 10 cm, soit un horizon Ap ayant l'une des propriétés suivantes:

1. Moins de 2 % de C organique.
2. Une luminosité de la couleur de l'échantillon frotté supérieure à 3,5 (état humide) ou à 5,0 (état sec).
3. Peu de contraste dans la luminosité de la couleur avec la couche sous-jacente (moins de 1,5 unités de différence si la luminosité de la couche sous-jacente est de 4 ou plus, ou moins de 1 unité de différence si cette luminosité est inférieure à 4).

Ils ont un horizon B ou C gleyifié et peuvent avoir un horizon superficiel organique.

Le grand groupe se subdivise en quatre sous-groupes d'après le genre et la succession des horizons.

GLEYSOL SOLONETZIQUE

Succession courante des horizons: Bng, Cgsk

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols. Ils ont en outre un horizon B solonetzique et peuvent avoir un horizon Bgf. Typiquement, ils ont un matériau d'origine salin.

GLEYSOL FERRIQUE

Succession courante des horizons: LFH ou O, Aeg, Bgf, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols. Ils ont en outre un horizon Bgf d'au moins 10 cm d'épaisseur, mais n'ont pas d'horizon B solonetzique. L'horizon Bgf contient une accumulation d'oxyde de fer hydraté (extractible à la dithionite) qu'on croit avoir été déposé par l'oxydation du fer fer-

reux. Généralement, l'horizon Bgf présente de nombreuses marbrures marquées de fortes saturations.

GLEYSOL ORTHIQUE

Succession courante des horizons: LFH ou O, Bg, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols. Typiquement, ils ont des horizons B et C fortement gleyifiés, et peuvent avoir des horizons superficiels organiques et un horizon éluvial.

Les gleysols orthiques s'identifient par les propriétés suivantes:

1. Ils ont un horizon B, Bg ou Btjg d'au moins 10 cm d'épaisseur.
2. Ils peuvent avoir un horizon Ah ou Ap particulier au grand groupe des gleysols.
3. Ils n'ont pas d'horizon Btg, d'horizon B solonetzique ni d'horizon Bgf d'au moins 10 cm d'épaisseur.

GLEYSOL RÉGO

Succession courante des horizons: LFH ou O, Cg

Ces sols ont les propriétés générales particulières à l'ordre gleysolique et au grand groupe des gleysols. Ils diffèrent des gleysols orthiques par l'absence d'un horizon B d'au moins 10 cm d'épaisseur. Ils se composent donc d'un horizon C gleyifié avec ou sans horizons superficiels organiques, et d'un horizon Ah ou B mince.

CONCLUSIONS

1. Le présent rapport montre que les problèmes persistants inhérents à la classification des sols gleysoliques au Canada sont attribuables non seulement au fait que les sols dans le paysage ont un continuum de propriétés traduisant les conditions d'oxydo-réduction existantes au cours de leur pédogenèse, mais également aux différences dans les concepts de la classification du sol entre les pédologues. Ces concepts ont évolué au cours du dernier demi-siècle, mais leur élaboration au fil des ans et leurs conséquences sur l'utilisation quotidienne de la taxonomie des sols n'ont pas été décrites en détail (Michalyna et Rust, 1984 a, b). Un exemple de cette situation est le concept préconisé par certains pédologues voulant que les sols gleysoliques soient mal ou très mal drainés. En réalité, les sols qui se sont formés pendant des milliers d'années sous des nappes phréatiques élevées, périodiques ou permanentes et dans des conditions réductrices intermittentes ou prolongées peuvent ne pas être actuellement saturés dans la coupe témoin. Ces sols autrefois mal ou très mal drainés peuvent être actuellement bien ou imparfaitement drainés, mais ils peuvent retenir les éléments du gley diagnostiques des sols gleysoliques pendant plusieurs années. La classification de ces sols comme gleysoliques et l'indication de leur régime hydrique actuel donnent plus d'information que le fait de les classifier dans un autre ordre de façon à maintenir l'uniformité entre le régime hydrique

actuel et la taxonomie. Si le régime hydrique actuel persiste en raison de l'entretien des tuyaux de drainage ou d'autres facteurs, le sol perdra finalement ses propriétés de gley prononcées et sera mieux classifié dans un autre ordre.

De même, les sols formés pendant des milliers d'années dans des conditions oxydantes de bon drainage peuvent devenir saturés d'eau pendant des périodes prolongées en raison de l'endiguement de rivières ou d'autres causes. Ces sols pourraient être classifiés comme des brunisols mélaniques orthiques assortis de régimes hydriques aquiques. Avec le temps, dans de telles conditions, ils développeraient les caractéristiques des sols gleysoliques et leur classification changerait en conséquence.

Un autre problème conceptuel est hérité jusqu'à un certain degré du passage d'une classification de terrain (Stobbe, 1945), essentiellement un système de classification d'unités cartographiques, à une classification taxonomique dans laquelle les taxons sont conceptuels et fondés sur des abstractions des propriétés des pédons (Stobbe, 1955; C.C.P., 1978). Certains pédologues classifient encore les sols d'après leur lecture du paysage, y compris l'exposition de la pente et la végétation, plutôt qu'en fonction des propriétés des pédons. Ellis (1932) était bien en avance sur son temps lorsqu'il soulignait clairement, il y a plus d'un demi-siècle, le besoin de classifier les sols en fonction de leurs propriétés.

2. Même si la pigmentation n'est pas une propriété pédologique de prime importance comme telle, elle demeure la meilleure base connue de critères de différenciation des sols gleysoliques. D'autres bases comme les potentiels rédox, les propriétés chimiques et les caractéristiques micromorphologiques ont été mis à l'épreuve et les recherches pour trouver un meilleur fondement devrait se poursuivre. Il est donc nécessaire d'épurer davantage les critères de pigmentation par rapport à des propriétés parfaitement décrites de divers matériaux pédologiques dans diverses conditions environnementales.

3. D'autres travaux sont nécessaires pour résoudre les problèmes qui ont été mis de côté à la réunion du C.E.P.P. de 1984 (Tarnocai, 1985). Les travaux les plus pressants intéressent la classification des sols possédant des horizons A chernozémiques recouvrant des horizons Aca ou Cca calcaires gris, et la limite entre les gleysols humiques et les gleysols. Des propositions visant à résoudre ces problèmes ont été formulées par McKeague et Wang en 1985; il appartient maintenant aux pédologues travaillant dans les régions où les problèmes sont pertinents de trouver des solutions plus appropriées et de les mettre à l'épreuve.

4. La poursuite de l'évaluation des critères de l'ordre gleysolique sera nécessaire à la lumière de nouvelles données sur les sols provenant des prospections pédologiques, des renseignements nouveaux sur les propriétés pédologiques eu égard au climat du sol et des progrès internationaux en matière de taxonomie des sols. Mais par rapport à d'autres problèmes plus pressants, ceux portant sur les aspects de la classification des sols gleysoliques sont négligeables.

Le mandat actuel consiste à appliquer le système et à enregistrer parfaitement les cas dans lesquels cette application entraîne une classification apparemment inappropriée du sol.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les nombreux pédologues des diverses régions du Canada qui nous ont fait part des lacunes du présent système de classification des sols (C.C.P., 1978), et des problèmes rencontrés dans l'application des critères de classification des sols gleysoliques à des pédons de nombreuses zones, et qui ont contribué par des discussions et des documents manuscrits, à la formulation des points de vue exprimés dans le présent rapport. Nous voulons également remercier les personnels des laboratoires de pédologie de Kelowna et de l'Institut de recherches sur les terres d'Ottawa pour avoir analysé certains des sols étudiés, ainsi que R.K. Guertin pour avoir préparé des coupes minces.

BIBLIOGRAPHIE

Anderson, J.L. 1984. Soil mottling, an indicator of saturation. Soil Survey Horizons. 25(4):13-14.

Atkinson, H.J. 1971. A bibliography of Canadian soil science. Publ. 1452. Canada Department of Agriculture, Ottawa.

Avery, B.W. 1980. Soil classification for England and Wales. Soil Survey Technical Monograph No. 14. Harpenden.

Bloomfield, C. 1949. Gleying. Soils and Fertilizers. 12:1-3.

Bloomfield, C. 1951. Experiments on the mechanism of gley formation. J. Soil Sci. 2:196-210.

Bouma, J. 1983. Hydrology and soil genesis of soils with aquic moisture regimes. pp. 253-281 in Wilding, Smeck and Hall, eds. Pedogenesis and Soil Taxonomy. Vol. 1 Elsevier.

Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. Krieger.

Brinkman, R. 1970. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. Geoderma 3:199-206.

Canada Department of Agriculture. 1970. The system of soil classification for Canada. Queen's Printer, Ottawa.

Childs, C.W. 1981. Field tests for ferrous iron and ferric-organic complexes on exchange sites or in water-soluble forms in soils. Aust. J. Soil Res. 19:175-180.

Commission canadienne de pédologie. 1978. Le système canadien de classifications des sols, Direction de la recherche, Ministère de l'Agriculture du Canada, publ. 1646, 170 pp.

Crown, P.H. and Hoffman, D.W. 1970. Relationship between water table levels and type of mottles in four Ontario Gleysols. Can. J. Soil Sci. 50: 453-455.

Day, J.H. ed. 1979. Minutes, first annual meeting Expert Committee on Soil survey. Ottawa.

Ibid. 1980. Second meeting.

Ibid. 1981. Third meeting.

Day, J.H. (ed.) 1983. Manual for describing soils in the field. Agriculture Canada, Ottawa.

DeKimpe, C.R., McKeague, J.A. and Topp, G.C. 1974. Soil properties in relation to water regime at a site near Quebec city. Can. J. Soil Sci. 54: 427-446.

Duchaufour, P. 1982. Pedology. Transl. from French by T.R. Paton George Allen and Unwin.

Ehrlich, W.A. 1958. Report on classification of Gleysolic soils. pp. 33-36 in Report Western Section, NSSC, Edmonton.

Ehrlich, W.A. 1960. Report on the classification of Gleysolic soils. pp. 30-33 in Report NSSC, Guelph.

Ehrlich, W.A. 1963. Report on the classification of Gleysolic soils. pp. 49-53 in Report 5th Meeting NSSC, Winnipeg.

Ehrlich, W.A. 1965. Report on the classification of Gleysolic soils. pp. 60-64 in Proc. 6th Meeting, N.S.S.C., Quebec.

Eilers, R.G. 1973. Relations between hydrogeology and soil characteristics near Deloraine, Manitoba. M.Sc. Thesis, Univ. of Manitoba. 202 pp.

Ellis, J.H. 1932. A field classification of soils for use in soil survey. Sci. Agr. 12: 338-345.

FAO - UNESCO. 1974. Soil map of the world. Vol. 1, Legend, Unesco, Paris.

Franzmeier, D.P., Jahner, J.E., Steinhardt, G.C., Sinclair, H.R. Jr. 1983. Color patterns and water table levels in some Indiana soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:1196-1202.

Ignatieff, V. 1939. Method of determining ferrous iron in soil solutions and a study of the effect of light on the reduction of iron by citrate and 2:2' dipyridyl. J. Soc. Chem. Ind. Trans. 56:407-410.

Igntieff, V. 1941. Ferrous iron in soils. Soil Sci. 54:249-263.

Joffe, J.S. 1936. Pedology. Rutgers University Press.

Mackintosh, E.E. 1973. Report of the subcommittee on soil water regime. pp. 136-153 in Proc. 9th Meeting CSSC, Saskatoon.

Mackintosh, E.E. 1976. Report of the Subcommittee 4; Soil water regimes. pp. 27-37 in Selected Proc. 11th Meeting CSSC, Guelph, K.W.G. Valentine, ed.

Mackintosh, E.E. and Van der Hulst, J. 1978. Soil drainage classes and soil water table relations in medium and coarse textured soils of southern Ontario. Can. J. Soil Sci. 58:287-301.

Macyk, T.M., Pawluk, S. and Lindsay, J.D. 1978. Relief and microclimate as related to soil properties. Can. J. Soil Sci. 58: 421-438.

Matthews, B.C. 1963. Report on soil moisture. pp. 64-65 in Report 5th Meeting NSSC, Winnipeg.

McKeague, J.A. 1958. A study of some Alberta soils under different drainage conditions. M.Sc. Thesis. Univ. of Alberta, 106 pp.

McKeague, J.A. 1965a. Relationship of water table and Eh to properties of three clay soils in the Ottawa Valley. Can. J. Soil Sci. 45: 49-62.

McKeague, J.A. 1965b. Properties and genesis of three members of the Uplands catena. Can. J. Soil Sci. 45: 63-77.

McKeague, J.A. 1965c. A laboratory study of gleying. Can. J. Soil Sci. 45: 199-206.

McKeague, J.A. 1968. Report of the subcommittee on the classification of Gleysolic soils. pp. 71-76 in Proc. 7th Meeting NSSC, Edmonton.

McKeague, J.A. 1970. Report on Gleysolic soils. pp. 129-131 in Proc. 8th Meeting CSSC, Ottawa.

McKeague, J.A. 1970. Report of the subcommittee on soil moisture regimes. pp. 9-20 in Proc. 8th Meeting CSSC, Ottawa.

McKeague, J.A. and Bentley, C.F. 1960. The effect of drainage conditions on the redox potential, leachate composition and morphological characteristics of a soil parent material studied in the laboratory. Can. J. Soil Sci. 40: 121-129.

McKeague, J.A., Luttmerding, H.A. and Tarnocai, C. 1985. Gleysolic order criteria applied to five pedons from British Columbia. Can. J. Soil Sci. (in press).

McKeague, J.A., Nowland, J.L., Brydon, J.E. and Miles, N.M. 1971. Characterization and classification of five soils from eastern Canada having prominently mottled B horizons. Can. J. Soil Sci. 51: 483-497.

McKeague, J.A. and Wang, C. 1985. Proposal of improved criteria for Gleysolic soils. pp. 130-134 in J.A. Shields and D.J. Kroetsch, eds. Proc. 6th Meet. Expert Committee on Soil Survey.

Michalyna, W. 1971. Distribution of various forms of aluminun, iron, and manganese in the Orthic Gray Wooded, Gleyed Orthic Gray Wooded and related Gleysolic soils in Manitoba. Can. J. Soil Sci. 51: 23-36.

Michalyna, W. 1974. Influence of drainage regime on the chemistry and morphology of Chernozemic soils in Manitoba. Ph.D. Thesis. Univ. of Minn. 209 pp.

Michalyna, W. and Rust, R.H. 1984a. Influence of drainage regime on the chemistry and morphology of some Maniltoba soils: Sandy Chernozemic and Gleysolic soils of the lower Assiniboine Delta. Can. J. Soil Sci. 64:587-604.

Miller, J.J. 1983. Hydrology of a morainic landscape near St. Denis, Saskatchewan, in relation to the genesis, classification and distribution of soils. M.Sc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon.

Mückenhausen, E. 1963. Le pseudogley. Sci. du Sol. 1:1-8.

Mückenhausen, E. 1965. The soil classification system of the Federal Republic of Germany. Pédologie. Intern. Symp. 3, Soil Classification, Ghent. p.57-74.

Murphy, C.P. 1984. The morphology and genesis of eight surface-water gley soils developed in till in England and Wales. J. Soil Sci. 35:251-272.

Murphy, C.P. and Bullock, P.,eds. 1981. International working-meeting on soil micromorphology. Programme and guide for post-meeting excursion through England and Wales. Rothamsted Experimental Station.

Nowland, J.L. 1981. Soil water regime classification. 1981. pp. 64-74 in Proc. 3rd Meeting ECSS, J.H. Day, ed., Ottawa.

Pickering, E.W. and Veneman, P.L.M. 1984. Moisture regimes and morphological characteristics in a hydrosequence in central Massachusetts. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:113-118.

Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24:29-96.

Richardson, J.L. and Hole, F.D. 1979. Mottling and iron distribution in a Glossoboralf-Haplaquoll hydrosequence on a glacial moraine in northwestern Wisconsin. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:552-558.

Ruhnke, G.N. 1926. The soil survey of southern Ontario. Sci. Agric. 7:117-124.

Schlichting, E. and Schwertmann, U. 1973. Pseudogley and gley. Verlag Chemie.

Shields, J.A. and Kroetsch, D.J. 1985. Proc. 6th Annual meeting, Expert Committee on Soil Survey, Guelph. Agr. Can., Ottawa.

Siuta, J. 1967. Gleying as an indicator of the water and air regime of a soil. Soviet Soil Sci. No. 3:356-363.

Smith, R.E. 1973. Report of the subcommittee on Gleysolic soils. pp. 309-320 in J.H. Day and P.G. Lajoie, eds. Proc. 9th Meet. Canada Soil Survey Committee. Agriculture Canada, Ottawa.

Soil Survey Staff. 1960. Soil classification. 7th Approximation. U.S.D.A. Washington, D.C.

Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomy. U.S. Dept. Agr. Handbook, No. 436. U.S. Gov't. Printing Office, Washington, D.C.

Stobbe, P.C. 1945. The report of the sub-committee on soil classification. pp. 20-42 in Proc. First Conf. National Soil Survey Committee, Ottawa.

Stobbe, P.C. 1955. Report of the sub-committee on soil classification. pp. 20-42 in Report Third Conf. National Soil Survey Committee.

Stonehouse, H.B. and St. Arnaud, R.J. 1971. Distribution of iron, clay and extractable iron and aluminum in some Saskatchewan soils. Can. J. Soil Sci. 51, 283-292.

Tarnocai, C. 1985. Report of the sub-committee on soil classification. pp. 283-294 in J.A. Shields and D.J. Kroetsch (ed.). Proc. 6th Annual meeting, Expert Committee on Soil Survey, Guelph. Agr. Can., Ottawa.

Thomasson, A.J. 1973. Factors influencing the water regimes of gleyed clayey soils in moist temperate regions. pp. 491-502 in Gley and Pseudogley, E. Schlichting and V. Schwertmann, eds. Verlag-Chimie.

Thorp, J. and Smith, G.D. 1949. Higher categories of soil classification: order, suborder and great soil group. Soil Sci. 67:117-126.

Veneman, P.L.M. and Bodine, S.M. 1982. Chemical and morphological soil characteristics in a New England drainage toposequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:359-363.

Vepraskas, M.J. and Wilding, L.P. 1983a. Aquic moisture regimes in soils with and without low chroma colors. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:280-285.

Ibid. 1983b. Albic neoskeletans in argillic horizons as indices of seasonal saturation and iron reduction. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:1201-1208.

Zaydel'man, F.R. 1984. Principles and draft of a classification of mineral soils in humid areas according to degree of hydromorphism and water-logging. Soviet Soil Sci. 16:72-81.

Zobeck, T.M. and Ritchie, A. Jr. 1984. Analysis of long-term water table depth records from a hydrosequence of soils in central Ohio. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:119-125.

Zoltai, S.C. and Tarnocai, C. 1974. Soils and vegetation of hummocky terrain. Environmental-Social Program, Northern Pipelines. Report No. 74-5.